ATTI
DEL
CONVEGNO CELEBRATIVO
DEL 2° CENTENARIO DELLA NASCITA DI
CARL FRIEDRICH GAUSS
E DEL 150° ANNIVERSARIO DELLA MORTE DI
PIERRE SIMONE DE LAPLACE
24 Ottobre 1977

*

COMMEMORAZIONE
DI
AMEDEO AVOGADRO
NEL BICENTENARIO DELLA NASCITA

15 Dicembre 1977

SUPPLEMENTO DEL VOL. 112 DEGLI
Atti della Accademia delle Scienze di Torino
I. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali

TORINO
1978

CONS.

ATTI
DEL
CONVEGNO CELEBRATIVO
DEL 2° CENTENARIO DELLA NASCITA DI
CARL FRIEDRICH GAUSS
E DEL 150° ANNIVERSARIO DELLA MORTE DI
PIERRE SIMONE DE LAPLACE
24 Ottobre 1977

*

COMMEMORAZIONE
DI
AMEDEO AVOGADRO
NEL BICENTENARIO DELLA NASCITA

15 Dicembre 1977

SUPPLEMENTO DEL VOL. 112 DEGLI
Atti della Accademia delle Scienze di Torino
I. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali

TORINO
1978



PREFAZIONE

Questo fascicolo supplementare degli «Atti della Accademia delle Scienze di Torino» contiene le conferenze del «Convegno Celebrativo del 2° Centenario della nascita di Karl Friedrich Gauss e del 150° anniversario della morte di Pierre Simon de Laplace», svoltosi nella sede accademica il giorno 24 ottobre 1977, dopo parole di apertura del Presidente dell'Accademia Prof. Norberto Bobbio, e la commemorazione di Amedeo Avogadro nel bicentenario della nascita tenutasi il 15 Dicembre 1977. Fra le conferenze previste nel programma quella annunciata dal Prof. J. O. Fleckenstein, dal titolo: Laplace e Gauss. Un confronto biografico, *non fu tenuta per improvvisa malattia dell'oratore. Così pure la interessante conferenza tenuta dal Prof. G. Colombo:* Una nuova incredibile struttura dinamica: gli anelli di Urano, *non figura in questo fascicolo, poiché l'autore non ha inviato il manoscritto.*

L'Accademia esprime il suo sentimento di riconoscenza alla «Camera di Commercio, Industria, Artigianato e Agricoltura di Torino», e particolarmente al suo Presidente Enrico Salza, per il munifico contributo finanziario assegnato, che ha consentito di coprire completamente le spese per la stampa di questo volumetto.

CATALDO AGOSTINELLI
(Vice Presidente dell'Accademia)

PAROLE DEL PRESIDENTE DELL'ACCADEMIA PROF. NORBERTO BOBBIO

Con questo convegno volto a celebrare Carl Friedrich Gauss nel secondo centenario della nascita e Pierre Simon de Laplace nel 150° anniversario della morte la nostra accademia chiude degnamente l'anno 1976 - 1977. Lo chiude mentre sta per cominciare il prossimo con una prolusione che avrà luogo giovedì 10 novembre del prof. Fracastoro, che è uno dei relatori di questa giornata. Si chiude e si apre sotto il segno e il regno dell'astronomia.

Non esito a considerare questo convegno la manifestazione più importante dell'anno dopoché siamo stati costretti a rinviare per ragioni che sarebbe troppo lungo raccontare la giornata juvarriana che era stata fissata il 24 maggio. Del convegno di oggi sia data lode ai soci della classe di scienze fisiche, matematiche e naturali, in modo particolare al prof. Agostinelli, nostro vicepresidente, al prof. Cirilli, direttore della Classe, e a tutti coloro che l'hanno promosso e hanno contribuito alla sua attuazione.

Porgo il più cordiale saluto a tutti i presenti, ed esprimo il mio più vivo ringraziamento ai relatori, a cominciare dal prof. Tricomi, che mi ha preceduto in questa presidenza, e che quest'anno abbiamo festeggiato in occasione del suo 80° compleanno, quindi al prof. Francesco Barone, che è professore all'università di Pisa, ma è torinese di formazione, se non di nascita, al prof. Giuseppe Colombo dell'università di Padova, al prof. Vittorio Banfi del Politecnico di Torino, al prof. Fracastoro, dell'università di Torino, al prof. Agostinelli, che chiuderà la giornata, spiacente di dovervi comunicare che il prof. Fleckenstein ha telegrafato due giorni fa che un'improvvisa malattia gli impedisce di essere presente stamane ai lavori del convegno.

Ricordando due soci fra i più illustri che la nostra accademia abbia avuto nella sua storia quasi bisecolare, riviviamo e ravviviamo la tradizione di cui possiamo andar fieri. Laplace fu eletto socio della Società reale non ancora Accademia (di cui l'attuale Accademia fu in qualche modo la consacrazione ufficiale da parte del re di Sardegna), come si legge nei nostri annali, nel 1766, data peraltro della cui verisimiglianza sono costretto, per dovere di storico, a dubitare perché, essendo nato nel 1749, avrebbe avuto soltanto 17 anni, il che anche per un enfant

prodige mi pare un po' troppo prodigioso (all'Accademia di Parigi fu eletto nel 1785, in data meno sospetta). Non voglio mancare di notare che figura nella stessa tornata di eletti nientemeno che Condorcet, per il quale nato nel 1743 la data è più verisimile (nel 1789 fu eletto all'Accademia delle scienze di Parigi, cui poi dal 1776 divenne segretario perpetuo).

Gauss, professore allora all'Università di Gottinga, fu eletto socio straniero per la classe di scienze fisiche (l'Accademia era stata istituita come continuazione della Società reale nel 1783) il 20 gennaio 1833. Nella stessa tornata figurano altri nomi illustri di scienziati che hanno lasciato tracce indelebili dello sviluppo del sapere scientifico: il fisico e astronomo francese Dominique Arago (1786 - 1853), il chimico svedese Jacob Berzelius (1769 - 1844), il fisico matematico francese Simon Denis Poisson (1781 - 1840), insieme con il toscano Gaetano Savi, professore di botanica all'università di Pisa (1769 - 1840). Appare anche il nome di von Humboldt di Berlino che ho ragione di credere sia il grande Alessandro autore di quell'opera monumentale sul «Kosmos» che era stata salutata con plauso dal nostro Carlo Cattaneo al suo primo apparire nel 1844.

Ho voluto ricordare questi nomi perché col senno di poi non possiamo dire approvare la scelta lungimirante dei nostri predecessori.

Non posso chiudere questa brevissima introduzione senza confessarvi che mi sento impari al compito di presiedere un convegno di scienziati dedicato a scienziati. La differenza fra le due culture di cui tanto si è parlato esiste. Ed io ne ho la più perfetta coscienza. Esiste anche purtroppo nella rigida, forse troppo rigida, divisione fra le due classi delle accademie le quali si riuniscono sempre separatamente e si ritrovano insieme soltanto per il compimento dovuto di atti amministrativi. Da tempo credo che bisognerebbe studiare la possibilità di promuovere almeno una seduta comune all'anno. Sarebbe un modo per conoscerci meglio e per superare se pure solo in parte la barriera. Per quanto ci sia una vera e propria frattura fra scienziati e umanisti non crediate che nelle sedute della nostra classe vi siano grandi possibilità d'intesa fra un filosofo classico e un economista, fra uno storico dell'India antica e un giurista. Se dovessimo dividerci in base alle vere e proprie competenze non dovremmo più dividerci per classi ma per sezioni e la funzione dell'accademia, che è indubbiamente nel senso proprio e nobile della parola enciclopedica, svanirebbe nel nulla.

Sono impari al compito, dicevo, anche perché non ho nessuna difficoltà ad ammettere che uno scienziato fra umanisti possa trovarsi più a suo agio che un umanista fra scienziati. L'umanesimo è stato sino ad ora la matrice comune della cultura universale, anche di quella scientifica.

Prego pertanto il prof. Agostinelli, vicepresidente, di assumere la presidenza del convegno e auguro a tutti buon lavoro.

† FRANCESCO GIACOMO TRICOMI

Sguardo alla vita e all'opera di Carl Friedrich Gauss (1777 - 1855)

Due secoli or sono, il 30 aprile 1777, nasceva a Braunschweig (Brunswick), capoluogo dell'omonimo ducato germanico, da modesta famiglia, quello che fu detto *princeps mathematicorum*: Carl Friedrich Gauss, uno dei più grandi matematici (nonchè astronomo e fisico) di tutti i tempi, fortunatamente salvato all'umanità allorché, piccolo fanciullo, stava annegando in un canale prossimo alla casa paterna in cui era caduto giuocando.

Egli fu di una straordinaria precocità e si narra che già all'età di tre anni, mentre il padre Gebhard Dietrich – piccolo imprenditore edile – pagava alcuni dipendenti, si accorse di un errore incorso nel calcolo di quanto dovuto ad uno di essi. E', del resto, assai noto il sintomatico aneddoto relativo al Gauss settenne, poco dopo che era entrato alla scuola elementare. Il maestro, forse per avere un momento di riposo, aveva assegnato agli scolari il compito di sommare fra loro i primi cento numeri interi. Mentre i suoi compagni si affaticavano a sommare e sommare, il piccolo Gauss dopo pochi istanti depose sulla cattedra la sua lavagnetta col giusto risultato: 5050 dicendo in dialetto «*Ligget se*» cioè «qui c'è», spiegando all'incredulo maestro come aveva fatto per giungere così presto al risultato. Immaginando i cento numeri scritti due volte, su due righe parallele, una volta in ordine crescente e una volta in ordine decrescente, in modo che il 100 fosse sotto l'1, il 99 sotto il 2 e via di seguito, si era accorto che la somma dei due numeri scritti l'uno sotto l'altro era sempre 101. Dunque il doppio del risultato cercato era cento volte 101, cioè 10100, donde il voluto risultato: 5050. Semplice sì, ma bisogna essere un Gauss per trovarlo da solo a sette anni!

La fama del fanciullo prodigio si sparse rapidamente in Brunswick e giunse all'orecchio del Duca regnante Friedrich Carl Wilhelm che volle conoscere il piccolo suo quasi omonimo che prese a proteggere dandogli i mezzi per proseguire gli studi nel *Collegium Carolinum* (embrione dell'attuale Politecnico di Braunschweig) ove il Nostro, pur non trovandovi maestri di gran fama, potè, comunque, affinare le sue conoscenze nelle lingue antiche e moderne – così che, nel seguito, potè scrivere in latino, secondo gli usi del tempo, le sue principali



La nuova moneta da 5 DM coniata in Germania in occasione del bicentenario.

opere – e studiare, in sostanza autodidatticamente, le opere di Newton, Euler e Lagrange, che gli fornivano le necessarie basi matematiche. E fu già in quel periodo che inventò il metodo dei minimi quadrati – tanto utile nelle scienze di misura – ma non lo pubblicò che molto più tardi, ritenendolo (a torto) cosa quasi ovvia. Così pure scoperse, in teoria dei numeri, il teorema fondamentale sui residui quadratici, già pubblicato (ma egli non lo sapeva) dieci anni prima dal Legendre.

Successivamente il Nostro, sempre con l'aiuto del Duca, studiò per tre anni all'università di Göttingen, nel contiguo regno di Hannover, ma si laureò (nel 1799) nell'anche più prossima università di Helmstedt (cessata nel 1810) ove ebbe alcune facilitazioni, cioè potè sostanzialmente limitarsi alla presentazione di una tesi scritta, che fu, del resto, una delle sue cose migliori: la prima dimostrazione rigorosa (perfezionata in seguito) del teorema fondamentale dell'algebra, cioè la risolubilità delle equazioni algebriche. Oltre a ciò aveva nel contempo approfondito i suoi studi di teoria dei numeri che approdarono alla pubblicazione nel 1801 delle sue *Disquisitiones arithmeticae*, che taluni ritengono la migliore opera di Gauss ma che, in principio, fu debitamente apprezzata solo da pochi – fra cui il Lagrange – per la sua forma troppo stringata e difficile, dovuta anche alla preoccupazione di contenere il più possibile le spese di stampa, che erano sostenute dal Duca di Brunswick. Vi si trova, fra l'altro, la caratterizzazione aritmetica del numero dei lati dei poligoni regolari costruibili con la riga e col compasso, di cui il primo dei non precedentemente noti era quello di 17 lati. E questa scoperta fece tanto scalpore che sul basamento del monumento erettogli nel 1880

a Brunswick si volle tracciato un tale poligono. Ma fu un poligono stellato perché quello convesso si sarebbe troppo facilmente confuso con una circonferenza.

Nello stesso anno di pubblicazione delle *Disquisitiones arithmeticae* un avvenimento esteriore venne a dirottare verso l'astronomia l'interesse di Gauss, che già aveva cominciato ad occuparsi un po' della difficile teoria del movimento della Luna in connessione con un concorso a premio dell'Accademia di Parigi. Questo avvenimento fu la scoperta a Palermo di un nuovo astro, forse un pianeta o una cometa, da parte dell'astronomo valtellinese Giuseppe Piazzi (1746 - 1826) la notte di Capodanno del 1801, che Piazzi spese all'Osservatorio invece che a brindare all'anno e secolo nuovo. Piazzi potè seguirlo per 41 giorni ma poi lo perse di vista, cosicché la vera natura del nuovo astro – che era Cerere, il primo e uno dei maggiori fra gli innumerevoli pianetini gravitanti fra Marte e Giove – rimase oscura fino al suo ritrovamento, giusto un anno dopo, con l'ausilio di dati teoricamente dedotti dalle prime osservazioni. Era in giuoco il difficile problema, allora non ancora soddisfacentemente risolto, di determinare l'orbita di un astro gravitante intorno al Sole, in base a tre (almeno) sue posizioni sulla sfera celeste. Appena Gauss ebbe notizia, nell'autunno del 1801, della nuova scoperta, si gettò con ardore sull'accennato problema e – grazie anche al suo metodo dei minimi quadrati – riuscì in breve a calcolare una soddisfacente orbita del nuovo nastro, che risultò ellittica, cioè ne assodò la natura planetaria, e che, subito pubblicata con relativa effemeride, consentì il ritrovamento del nuovo astro il 1° gennaio 1802 da parte dell'astronomo Barone von Zach (1754 - 1832) dell'Osservatorio di Seeberg presso Gotha. Questo brillante successo diede subito grande fama al Gauss nel mondo degli astronomi, fama riaffermata nel 1809 dalla pubblicazione della sua *Theoria motus corporum coelestium etc.*, che conteneva tutto un corredo di formule assai pratiche per la determinazione delle orbite dei corpi gravitanti intorno al Sole, in base a tre loro osservazioni.

Avvenne così che nel 1802 il Nostro ricevè la lusinghiera offerta di andare in Russia a dirigere l'Osservatorio di Pietroburgo e – avendola declinata per non lasciare il suo Paese – il Duca suo protettore, lieto di ciò, gli assegnò una pensione annua di più di 600 talleri, senza precisi obblighi tranne quello di continuare a studiare, mantenendo la rinomanza già acquistata. Questa pensione gli consentì di pensare a formarsi una famiglia e nel 1805 sposò Johanna Elisabeth Osthoff (1780 - 1809) che nel pur breve matrimonio gli diede tre figli, di cui il primo fu Joseph (1806 - 1873), così denominato in onore di Giuseppe Piazzi, che fu poi ufficiale dell'esercito hannoveriano e quindi dirigente della costruzione e dell'esercizio delle prime ferrovie di quel regno. Seguì la figlia Minna (1808 - 1840) – poi sposa ad Heinrich Ewald (1803 - 1875), professore di teologia e lingue orientali all'Università di Göttingen e quindi di Tübingen – e poi, nel 1809, il figlio Luigi, morto infante, il cui difficile parto provocò la prematura morte della

madre, non avendo il marito – nonostante le difficoltà presentatesi già nel precedente parto di Minna – usato precauzioni atte ad evitare ulteriori concepimenti.

Nel frattempo, nel 1807, il Nostro trovò la sua definitiva sistemazione professionale con la molto onorifica chiamata all'Università di Göttingen quale professore di astronomia e direttore del relativo Osservatorio, che però era allora solo embrionale e solo nel 1816 trovò degna sede nell'apposito nuovo edificio, costruito ed attrezzato sotto l'assidua sopraintendenza di Gauss. Però già prima erano cominciati ad affluire colà valorosi studenti, fra cui gli astronomi Heinrich Christian Schumacher (1780 - 1850) e Johanna Franz Encke (1791 - 1865) (*) e il matematico August F. Möbius (1790 - 1868).

Poco dopo la morte della prima moglie, nel 1810, Gauss sposò in seconde nozze Minna Waldeck (1788 - 1831), figlia di un suo collega dell'università di Göttingen, morta anch'essa prematuramente per una tubercolosi che la rese ben presto semi-invalida; nonostante che il Nostro avesse una volta scritto che lo sposarsi è giuocare ad una lotteria in cui vi sono moltissimi biglietti perdenti e ben pochi favorevoli. Da lei ebbe tre figli: due maschi, Eugenius (1811 - 1896) e Wilhelm (1813 - - 1879) che, dapprima scapestrati, fecero fortuna in America (nello Stato del Missouri) come commercianti, e una femmina, Therese (1816 - 1864) che, dopo aver amororosamente accudito il padre nella sua vecchiaia, si sposò tardivamente a Dresda con l'attore Constantin W. Staupenau, che conosceva già da lungo tempo. Dai tre figli maschi presero origine numerosi discendenti – taluni ancora viventi in America e in Europa – fra cui alcune (poche) personalità notevoli, ma nessuno che abbia mostrato particolari attitudini matematiche.

Gauss aveva adottato il motto *pauca sed matura*; tuttavia le sue opere complete – pubblicate fra il 1863 e il 1935 sotto gli auspici della Reale Società delle Scienze (cioè dell'Accademia) di Göttingen – riempono ben 12 volumi, ma sono in gran parte relazioni di osservazioni astronomiche e altre. Quelle di argomento più propriamente matematico non sono effettivamente molte: una dozzina, ma di alto livello e alcune assai ampie. Fra di esse, oltre a quelle cui si è già avuto occasione di accennare, spiccano una memoria del 1812 sulle funzioni ipergeometriche – ora dette appunto gaussiane – la curva gaussiana di ripartizione degli errori d'osservazione, delle ricerche sull'interpolazione e le quadrature numeriche e la celebre memoria del 1827: *Disquisitiones generales circa superficies curvas* in cui, fra l'altro, viene introdotta la curvatura *totale* (o *gaussiana*) di una superficie, dimostrandone l'invarianza («*Theorema egregium*») nelle *flessioni* della superficie. Al proposito è interessante notare che queste ricerche del Nostro sulle superfici scaturirono spontaneamente dai lavori geodetici da lui eseguiti dal 1822

(*) Di cui fu allievo il nostro astronomo Antonio Abetti (1846 - 1928) che io ho ancora personalmente conosciuto.

al '26 per la triangolazione dell'Hannover, in apparente contrasto con le vedute da lui varie volte espresse sulla preminenza della matematica pura su quella applicata. Però una volta disse anche che il vero significato e valore della matematica risiede nelle sue applicazioni alle scienze naturali e alla vita pratica. Notiamo pure che uno dei capisaldi della triangolazione dell'Hannover: la torre di Hohenhagen presso Dransfeld, nel 1911 fu dedicata alla memoria di Gauss instituendovi un piccolo museo.

Nel decennio successivo al 1831, arrivato a Göttingen il fisico Wilhelm Weber (1804 - 1891) che divenne amicissimo del Nostro, l'interesse di questi si sposta prevalentemente sulla fisica-matematica e in particolare sullo studio del campo magnetico terrestre, a cui apportò contributi essenziali, anche con l'invenzione di nuovi strumenti di misura, fra cui il suo magnetometro bipilare. Sicché più tardi fu con ragione dato il nome di *gauss* all'unità di misura dell'intensità del campo magnetico. In connessione con questi studi, nel 1833, Gauss unitamente al Weber realizzò un primo modello di telegrafo magnetoelettrico abbastanza pratico, che funzionò per alcuni anni tra l'Osservatorio astronomico e l'Istituto fisico di Göttingen (distanti fra loro circa 3 km) come ricorda il monumento colà eretto ai due scienziati nel 1899. E Gauss s'interessò pure di cristallografia e di ottica, inventando, fra l'altro, un *oculare compensatore* per correggere i difetti di acromatismo degli obiettivi.

Nel 1837 il Nostro fu assai dolorosamente colpito dall'affare dei *Göttinger Sieben*, cioè dal clamoroso licenziamento di sette professori di quell'università – fra cui il Weber (passato a Lipsia) e suo genero Ewald (passato a Tübingen) – che avevano protestato contro l'abolizione della Costituzione dell'Hannover da parte del nuovo Re (dell'Hannover e d'Inghilterra) Ernst August, Duca di Cumberland (1771 - 1851). La cosa lo colpì direttamente, sia per la cessazione della fruttuosa collaborazione col Weber, sia per l'allontanamento della figlia Minna, moglie di Ewald. Inoltre fu acerbamente criticato per non essersi unito alla protesta, nonostante che non avesse fatto mai mistero delle sue vedute rigidamente conservatrici.

Cessata la collaborazione col Weber, Gauss tornò ad occuparsi prevalentemente di astronomia e di matematica pura, fra cui dei fondamenti della geometria, su cui fin dal 1792 aveva acquistata la convinzione che erano possibili anche geometrie diverse dall'euclidea, ma senza pubblicare nulla al riguardo per timore «delle strida dei Beoti». Ne aveva discorso solo nel 1932 in occasione di una pubblicazione su l'argomento del matematico ungherese Johann Bolyai (1802 - 1860) il cui padre Wolfgang (1775 - 1856) era stato amicissimo del Nostro quando furono entrambi studenti a Göttingen. Del resto, anche di altre sue scoperte e meditazioni Gauss non si era curato di dar pubblica notizia e non se ne seppe nulla fino a che, molto dopo la sua morte, fu trovato fra le sue carte un diario scientifico dal 1796

al 1814 pubblicato nel 1901 da Felix Klein. In particolare risultò che egli fin dal 1800 era in possesso dei lineamenti generali della teoria degli integrali e funzioni ellittiche, compresa la loro doppia periodiocità, della cui scoperta fu poi giustamente dato merito a N. Abel (1802 - 1829) e C. G. J. Jacobi (1804 - 1851) che la fecero conoscere un quarto di secolo dopo. E similmente per la connessa teoria della media aritmetico-geometria ed altre cose.

Di questa poca cura di far conoscere i suoi risultati è stato fatto rimprovero al Gauss, attribuendola ad orgoglio. Ma fu piuttosto indifferenza per la fama e gli onori nonché, nel caso della geometria non-ecuclidea, timore di venir coinvolto in polemiche da cui era alienissimo. Un'altra pecularietà di cui gli è stato fatto rimprovero, è stata la sua poca simpatia per l'insegnamento, su cui fece inequivocabili dichiarazioni. Tuttavia ebbe, specialmente nei suoi ultimi anni, alcuni allievi che basterebbero a far fama a qualunque maestro. Basti ricordare B. Riemann (1826 - 1866) e R. Dedekind (1831 - 1916). Pensava inoltre che la matematica si può benissimo studiare autodidatticamente come, in sostanza, aveva fatto lui, ma non tutti sono dei Gauss!

A prescindere da simili sporadiche critiche – fra cui quelle, rasentanti la patologia mentale, del filosofo Eugen Dühring (1833 - 1921) – la fama del Gauss non conobbe ecclissi e raggiunse inconsuete altezze durante il suo giubileo dottorale nel 1849 e nel centenario della morte nel 1955. Egli fu membro d'innumerevoli accademie scientifiche, fra cui l'italiana dei «Quaranta» (dal 1810) e la nostra taurinense (dal 1833). Particolarmente toccante il concreto omaggio tributatogli dal grande Laplace nel 1808 che, avendo saputo che Gauss aveva qualche difficoltà a pagare la sua quota (2000 Fr.) di una contribuzione di guerra imposta da Napoleone alla Germania occupata, la versò per lui a Parigi. Però più tardi Gauss volle rimborsargli somma e interessi. Egli era invero scrupolosissimo in materia di denaro, nonché savio ed oculato amministratore del proprio. Tanto che alla sua morte (23 febbraio 1855) lasciò un patrimonio liquido di oltre 160 mila talleri (di cui 18 mila in contanti, in vari nascondigli casalinghi) nonostante che solo negli ultimi tempi il suo stipendio aveva raggiunto i 2500 talleri annui.

Si può discutere se Gauss sia stato più un grande matematico o un grande astronomo, sia teorico sia pratico. In generale lo si considera più come un matematico, per quanto i numerosi corsi da lui impartiti a Göttingen siano stati quasi tutti di astronomia, coerentemente al titolo della sua cattedra. Inoltre, dopo la memoria del 1827 sulle superfici curve, quasi nessuna delle sue pubblicazioni (non considerate alcune postume) concerne la matematica pura. Si può aggiungere che se Gauss fosse vissuto nei nostri tempi, probabilmente gli avrebbero dato il Nobel di fisica pei suoi pionieristici studi sul magnetismo terrestre e l'impulso dato alla costituzione di una rete internazionale di stazioni magnetiche.

Oltre ai già accennati monumenti a Göttingen (assieme col Weber) e Braun-

schweig ed alla torre di Hohenhagen, anche a Berlino gli fu eretto un monumento, ed un vulcano dell'Antartide – scoperto da una spedizione il cui battello portava il suo nome – è stato denominato Gauss-Berg.

FRANCESCO BARONE

L'epistemologia di Pierre Simon de Laplace

Si cercherebbe invano nei quattordici volumi, in cui l'Accademia delle Scienze di Parigi raccolse le opere di Laplace (1), una trattazione esplicita dedicata di proposito alla riflessione critica sui presupposti e princìpi metodologici delle ricerche scientifiche e su significato, valore e portata dei loro risultati; in breve, non vi si trova un saggio che nel linguaggio odierno si contrassegnerebbe come «epistemologico». E' vero che quella raccolta, anche se porta il titolo di *Oeuvres complètes*, non riunisce tutti gli scritti di Laplace, poiché non vi compaiono alcuni saggi d'argomento fisico e, soprattutto, manca nella quasi interezza l'epistolario. Per chi si ponga la questione dell'epistemologia di Laplace, sarebbe senz'altro utile poter estendere la ricerca in quest'ultima direzione: ma, in ogni caso, rimarrebbe inalterata la conclusione: Laplace non ha lasciato uno scritto apposito su tale argomento.

L'abitudine a dedicarsi più o meno ampiamente a trattazioni epistemologiche è abbastanza recente tra gli scienziati; in realtà, essi hanno sempre riflettuto in questo senso, perché vi erano inevitabilmente condotti proprio dal più asettico profondarsi nella ricerca positiva: ma non sempre ne hanno scritto diffusamente in trattazioni apposite. Molto spesso, salvo i non molti casi in cui si tratti di uomini che vogliano soddisfare alla duplice vocazione di scienziato e di filosofo, l'epistemologia di uno scienziato va «ricostruita» attraverso i cenni occasionali, le osservazioni in margine ed i rapidi commenti che contrappuntano, in modo più o meno ampio, ricerche e formulazioni di risultati in opere di schietto impegno scientifico.

E' questo anche il caso di Laplace, per cui si può tracciare un quadro epistemologico solo raccogliendo e intrecciando i fili sparsi nei numerosissimi *Mémoires*, in quelle grandiose sintesi che sono il *Traité de mécanique céleste* e la *Théorie*

(1) Cfr. *Oeuvres complètes de Laplace*, publiées sous les auspices de l'Academie des Sciences par MM. les Secrétaires perpetuels, Paris, Gauthier-Villars, 14 voll., 1878 - 1912.

analytique des Probabilités (compresa l'introduzione alla seconda edizione, nota separatamente anche con il titolo di *Essai philosophique sur les Probabilités*) e in quell'insuperato capolavoro di divulgazione scientifica che è l'*Exposition du Système du Monde.* Sui cenni ad alcuni temi Laplace ritorna ripetutamente nelle diverse opere; e ciò facilita la delineazione di certi tratti del quadro epistemologico, specie quando risultano comuni alla sua attività di astronomo, di matematico e di fisico. Ma sono tratti che l'autore, per conto suo, non ha sistemato coerentemente, sicché abbisognano di un'interpretazione da parte del lettore. E' un'interpretazione che merita tentare, anche se Laplace non volle atteggiarsi a filosofo della scienza, dal momento che la ricerca scientifica da lui realizzata secondo quei canoni epistemologici è stata considerata per quasi tutto l'Ottocento come un modello indiscusso. Ed anche al momento attuale, in cui le discussioni epistemologiche paiono interessare direttamente gli scienziati assai più che ai tempi di Laplace, credo che una riflessione sul quadro epistemologico che lo concerne possa essere feconda di suggestioni sia per ciò che risulta compatibile con la scienza contemporanea sia, come contrasto, per ciò che appare estraneo ad essa.

Poiché l'epistemologia si interessa anche dei «presupposti» della ricerca scientifica, pure nel caso di Laplace – come in ogni altro – non si può tacere di quei presupposti generalissimi di carattere culturale o filosofico che ogni scienziato, quasi inconsapevolmente, assorbe dall'atmosfera del proprio tempo. Si tratta di convinzioni e atteggiamenti mentali che non sono propri del far scienza, ma in un certo modo anteriori ad esso, quasi uno «spirito del tempo», e che proprio per la loro non stretta pertinenza alle procedure scientifiche non vengono esplicitamente presi in considerazione dagli scienziati nel loro lavoro specifico. Sarebbe forzato ridurre a tali elementi l'epistemologia; ma sarebbe non meno parziale trascurarli nello studio storicamente concreto di una epistemologia.

Ora, è ben noto che Laplace si formò in pieno Illuminismo, anche se la sua vita si estese attraverso la Rivoluzione, il Consolato, l'Impero napoleonico e la Restaurazione dei Borboni, vicende tutte assai poco pacifiche, ma da cui egli seppe sempre uscire benissimo, traendone anzi (alcuni dicono con troppa adattabilità) riconoscimenti ed onori. E dell'indirizzo filosofico illuministico Laplace assorbì indelebilmente alcune caratteristiche, credenze ed abitudini mentali: in primo luogo la convinzione che la scienza, come migliore espressione delle capacità umane e strumento di perfezionamento in ogni campo della nostra vita, è ciò che merita il massimo impegno. Forse il suo spregiudicato adattarsi alle più svariate situazioni politiche dipese anche, in parte, da questo suo ideale dell'importanza primaria ed esclusiva della scienza, a cui egli volle dedicarsi senza impedimenti.

Il fatto stesso che Laplace abbia coltivato una molteplicità di interessi scien-

tifici in varie discipline (aborrendo la specializzazione, che con l'Ottocento comincerà a diventare tipica di molti scienziati) è rivelativo di questo atteggiamento di pensiero. E così è anche, ad esempio, il suo tentativo di unificazione delle scienze fisiche e di quelle morali con l'applicazione ad entrambe del calcolo delle probabilità: «Applichiamo alle scienze politiche e morali il metodo fondato sull'osservazione e sul calcolo, il quale ci ha così ben servito nelle scienze naturali. Non opponiamo una resistenza inutile e spesso pericolosa agli effetti inevitabili del progresso dei lumi» (2).

Questo progresso è inarrestabile e senza fine nelle scienze, le quali – diversamente dalla letteratura, i cui limiti sono raggiungibili da un «uomo di genio che usi una lingua perfezionata» – sono invece «senza limiti come la natura» e «si accrescono all'infinito per i lavori di generazioni successive» (3). Così, la scienza si oppone, da un lato, all'«esprit de système» (4), ch'è proprio della filosofia intesa come metafisica e, dall'altro, è un continuo superamento della tradizione e di tutto ciò ch'essa porta con sé di ignoranza, pregiudizi ed «écarts» dalla retta razionalità (5). Non solo le scienze, pure con le loro teorie più astratte, «estendendosi con numerose applicazioni sulla natura e sulle arti, sono divenute inesauribili fonti di beni e di gioie anche per colui che le ignora» (6); ma sono addirittura ciò che dà dignità all'uomo, liberandolo dai timori e dai terrori generati «dall'ignoranza dei veri rapporti dell'uomo con l'universo» (7). Così Laplace afferma nel-

---

(2) *Théorie analytique des probabilités*, Introduction, *Oeuvres*, cit., vol. VII, p. LXXVIII. Tuttavia, subito Laplace aggiunge (siamo nel 1814): «Ma non cambiamo che con circospezione estrema le nostre istituzioni e gli usi a cui siamo assuefatti da gran tempo. Conosciamo bene, per l'esperienza del passato, gli inconvenienti che presentano; ma ignoriamo qual è l'estensione dei mali che il loro cambiamento può produrre».

(3) *Exposition du Système du Monde*, in *Oeuvres*, cit., vol. VI, pp. 461 - 2.

(4) Ibid., p. 448.

(5) Nelle *Leçons de mathématiques* tenute nel 1795 all'Ecole Normale, parlando della numerazione binaria e dell'immagine della creazione che Leibniz vide in essa, osserva che ciò gli richiama il commentario su l'*Apocalisse* di Newton, e così commenta rivolgendosi agli allievi: «Quando voi vedete gli sbandamenti (*écarts*) di uomini così grandi, sbandamenti che sono dovuti alle impressioni ricevute nell'infanzia, sentite quanto un sistema di educazione libero da pregiudizi è utile per il progresso della ragione umana, e che è bello essere chiamati, come voi lo siete, a presentarla ai vostri concittadini in tutta la sua purezza e libera dalle nubi che troppo sovente l'hanno oscurata» (*Oeuvres*, cit., vol. XIV, p. 21). Su Leibniz e la numerazione binaria cfr. anche *Oeuvres*, cit., vol. VII, p. CXIX.

(6) *Traité de mécanique céleste*, Préface al libro VI, *Oeuvres*, cit., vol. III, p. XIV.

(7) Cfr. *Théorie*, Introduction, in *Oeuvres*, cit., vol. VII, pp. VII - VIII.

l'*Essai* del 1814, ma ribadendo un concetto già altre volte proposto, come nella conclusione storica dell'*Exposition du Système du Monde*, ove termina con queste parole la sua delineazione degli sviluppi dell'astronomia: «Conserviamo con cura, aumentiamo il deposito di queste alte conoscenze, delizie degli esseri pensanti. Esse hanno reso importanti servizi alla Navigazione e alla Geografia; ma il loro beneficio più grande è di avere dissipato i timori prodotti dai fenomeni celesti e distrutti gli errori nati dall'ignoranza dei nostri veri rapporti con la natura, errori e timori che rinascerebbero prontamente se la fiaccola della scienza venisse a spegnersi» (8).

In questa prospettiva v'è un filosofo naturale (oggi diremmo uno scienziato) che campeggia come modello esclusivo: è Newton, ripetutamente indicato come il campione del «metodo delle induzioni» (9), poiché «la vera marcia della filosofia consiste nel risalire, per la via dell'induzione e del calcolo, dai fenomeni alle leggi e dalle leggi alle forze» (10). Laplace non va troppo per il sottile nel contrapporre questa marcia della filosofia naturale a tutta la filosofia tradizionale in blocco: «I filosofi dell'antichità, seguendo una strada contraria e mettendosi alla fonte di tutto, immaginarono delle cause generali per tutto spiegare. Il loro metodo che non aveva generato che dei falsi sistemi, non ebbe maggior successo nelle mani di Cartesio. Al tempo di Newton, Leibniz, Malebranche e altri filosofi l'usarono con altrettanto pochi vantaggi. Infine, l'inutilità delle ipotesi che esso ha fatto immaginare ed i progressi di cui le scienze sono debitrici al metodo delle induzioni hanno riportato i *bons esprits* a questo metodo che il cancelliere Bacone aveva stabilito con tutta la forza della ragione e dell'eloquenza e che Newton ha ancora più fortemente raccomandato con le sue scoperte» (11).

Tra i difetti principali della filosofia tradizionale c'è il teleologismo. L'introduzione del concetto di finalità, a ogni livello di indagine, è per Laplace un arresto al progresso della scienza, sicché più volte egli polemizza contro ogni causa finale (12). «Percorriamo la storia dei progressi dello spirito umano e dei suoi errori; vi vedremo le cause finali costantemente respinte ai limiti delle nostre

---

(8) *Oeuvres*, cit., vol. VI, p. 486.

(9) Ibid., p. 463.

(10) Così in una memoria, *Sur la rotation de la Terre*, pubblicata nel 1821 su «La Connaissance des Temps», in *Oeuvres*, cit., vol. XIII, p. 148.

(11) *Exposition*, in *Oeuvres*, cit., vol. VI, p. 463.

(12) Si vedano – oltre al brano che subito segue nel testo, e che si trova in *Oeuvres*, cit., vol. VI, p. 480 –, tra gli altri, anche i passi in *Oeuvres*, cit., vol. VI, p. 171 e p. 188; vol. VII, p. LIII; vol. XIII, p. 148.

conoscenze. Queste cause che Newton trasporta ai limiti del sistema solare, erano, nel suo stesso tempo, situate nell'atmosfera per spiegare le meteore; esse non sono dunque agli occhi del filosofo che l'espressione dell'ignoranza in cui ci troviamo delle cause vere». Su questo punto si tratta addirittura per Laplace di andare oltre Newton che aveva ancora lasciato aleggiare la finalità ai limiti del sistema solare. Anche di qui egli la vuole respingere. Ed è a tutti noto l'aneddoto circa la risposta che Laplace avrebbe dato a Napoleone quando questi – a proposito dell'*Exposition du Système du Monde,* che nella nota VII contiene la celebre ipotesi cosmologica sull'origine del sistema solare – gli osservava che in quell'opera potente non si facesse mai il nome del creatore dell'universo: «Sire, io non ho bisogno di questo genere di ipotesi» ([13]).

E' vero che l'Illuminismo ha molte facce e che sarebbe semplicistico volerne tracciare un sommario ritratto: ma tali facce hanno pur qualche tratto familiare comune. E sono appunto questi tratti, come l'entusiasmo per la scienza e le relative implicazioni, che vengono richiamati dai rapidi cenni che abbiamo fatto degli orientamenti culturali del Laplace. Sono orientamenti che, come sempre capita nelle vicende umane, hanno aspetti positivi ed aspetti negativi; e su essi, si sa, c'è una letteratura sterminata, che non è qui il caso di affrontare. Per ciò che riguarda Laplace, prescindendo dalle valutazioni generali del movimento illuministico, basterà ricordare, a titolo di esempio, due conseguenze di quell'entusiasmo per la scienza, il quale assume talvolta i lineamenti dello scientismo.

Entusiasmo per la scienza può significare, in certe occasioni, attenzione esclusiva per certe teorie scientifiche di grande successo e inclinazione a ridurre ed a forzare in esse tutte le forme della nostra esperienza. E' ciò che capita a Laplace nell'abbozzo di «psicologia» e di «morale» da lui sviluppato nell'*Essai* e che ha un'impronta schiettamente meccanicistica e materialistica ([14]). Quali che siano le sue fonti (si sentono temi e argomentazioni di Hume e Lamettrie, oltre che di

---

([13]) Forse Napoleone – se l'aneddoto rispecchia la verità storica – non aveva letto con grandissima attenzione l'*Exposition du Système du Monde*, poiché in essa si parla, almeno una volta, dell'«autore della Natura». Ma Laplace lo fa proprio per polemizzare con Newton il quale, nello Scolio Generale che conclude la seconda edizione (1713) dei *Principia*, attribuiva a «un essere intelligente e potente» l'«elegantissima compagine del Sole, dei pianeti e delle comete». Laplace, invece, osserva: «Ma questa disposizione dei pianeti non può essere essa stessa un effetto delle leggi del movimento? e la suprema intelligenza, che Newton fa intervenire, non può averla fatta dipendere da un fenomeno più generale? Tale è, secondo le nostre congetture, quello di una materia nebulosa sparsa in ammassi diversi, nell'immensità dei cieli. Si può ancora affermare [poco oltre L. citerà Cuvier] che la conservazione del sistema planetario rientra nei fini (*vues*) dell'autore della Natura?» (*Oeuvres*, cit., vol. VI, p. 479).

([14]) Cfr. *Oeuvres*, cit., vol. VII, pp. CXXIII - CXXXVIII.

Bonnet e Robinet), è ben difficile riconoscere la prudenza ed il controllo tipici del Laplace matematico e fisico quando egli si sforza di riportare ai princìpi delle sue scienze predilette tutte le manifestazioni della vita intellettuale e spirituale. «Le vibrazioni del *sensorium* devono essere assoggettate, come tutti i movimenti, alle leggi della Dinamica»; «le idee complesse si formano dalle loro idee semplici, come il flusso del mare si forma dai flussi parziali che il Sole e la Luna producono. L'esitazione tra motivi opposti è un equilibrio di forze eguali»; «quasi tutti i paragoni che prendiamo dagli oggetti materiali, per rendere sensibili le cose intellettuali, sono al fondo delle identità» (15). Chi legga queste frasi di Laplace, sente in esse – più che i temi di una severa epistemologia – quasi i preludi della metafisica scientistica tipica di tanto positivismo ottocentesco. E la cosa più paradossale è che Laplace sostiene di tentare questo abbozzo di ricostruzione (o, meglio si direbbe, riduzione) della vita spirituale per distruggere pregiudizi e paure del pensiero tradizionale derivanti «da certe cause fisiologiche, che continuano talvolta ad agire fortemente dopo che la ragione ci ha disingannati» (16).

Tuttavia, quando l'entusiasmo per la scienza non prende in questo modo la mano, può anche essere all'origine di suggestive riflessioni metodologiche. Così è, per esempio, a proposito di un'originale interpretazione che Laplace dà della passione illuministica per le Accademie. «La natura è così varia nelle sue produzioni e nei suoi fenomeni, ed è così difficile penetrarne le cause che, per conoscerla e forzarla a svelarci le sue leggi, bisogna che un gran numero di uomini riuniscano i loro lumi ed i loro sforzi. Questa riunione diviene soprattutto necessaria quando, moltiplicando il progresso delle scienze i loro punti di contatto e non permettendo ad un uomo solo di approfondirle tutte, le scienze non possono ricevere che da parecchi scienziati i soccorsi mutui ch'esse richiedono. Allora il fisico fa ricorso al geometra per elevarsi alle cause generali dei fenomeni che osserva, e il geometra interroga a sua volta il fisico, per rendere le sue ricerche utili, applicandole all'esperienza, e per aprirsi con queste stesse applicazioni nuove vie nell'Analisi. Ma il principale vantaggio delle Accademie è lo spirito filosofico che vi si deve introdurre e di lì spandersi su tutta una nazione e su tutti gli oggetti. Lo scienziato isolato può abbandonarsi senza timore allo spirito di sistema: egli non intende che da lontano la contraddizione che prova. Ma in una *société savante* l'urto delle opinioni sistematiche finisce col distruggerle, e il desiderio di convincersi mutuamente stabilisce di necessità tra i membri la convenzione di non ammettere che i risultati dell'osservazione e del calcolo. Così l'esperienza ha mostrato che, dopo l'origine delle Accademie, la vera filosofia

(15) Ibid., pp. CXXXVII - VIII.

(16) Ibid., p. CXXIII.

s'è generalmente diffusa» (17).

Questa citazione da l'*Exposition du Système du Monde* è piuttosto lunga, ma merita di essere fatta per le indicazioni epistemologiche che contiene. Risuonano sì in essa noti motivi illuministici come l'affermazione, ch'era già baconiana, del carattere cooperativo della ricerca scientifica; oppure il rilievo, ch'è oggi per noi tanto più stimolante e suggestivo, dello stretto intreccio di scienza e tecnica, sicché se quest'ultima, nel suo aspetto puramente applicativo, si fonda manifestamente sulla prima, essa è nondimeno anche, per i problemi che solleva, una fonte e un pungolo continui per la ricerca teorica stessa. La nostra età tecnologica può apprezzare appieno l'originalità di Laplace nel sottolineare questo intreccio in un'epoca nella quale aveva ancora tanto peso la contrapposizione classica tra i due termini.

Degno di particolare attenzione, tuttavia, mi pare ciò che Laplace dice circa il «principale vantaggio delle Accademie»: v'è bensì il tema illuministico del diffondersi, da esse, dello spirito filosofico; ma la prospettiva in cui si valutano queste istituzioni storicamente ben determinate è assai più ampia. In realtà, parlando della distruzione reciproca delle opinioni sistematiche all'interno di una società di dotti, Laplace tocca il problema che, in terminologia odierna, si può chiamare della «demarcazione», cioè della distinzione del discorso scientifico (proprio della conoscenza rigorosa) dagli altri tipi di discorso che, pur avendo in sé qualche istanza del «sapere», si differenziano dalla scienza. Che nelle Accademie si eliminino le costruzioni puramente soggettive (in cui ci si abbandona senza timore all'*esprit de système*), per giungere alla convenzione di non ammettere che i risultati dell'osservazione e del calcolo, significa per Laplace che, attraverso queste istituzioni, si giunge all'esplicitazione del carattere di controllo pubblico ed intersoggettivo proprio del discorso scientifico per comune riconoscimento di coloro che si dedicano ad esso. Non c'è un'essenza della scienza che dipenda da una particolare qualità dei suoi oggetti. Nell'accezione che Laplace dà a questo termine, la «scienza» si costituisce ogni volta che si convenga di stabilire gli strumenti non privati del controllo delle ricerche. Forse Laplace ha una certa tendenza (che si potrebbe definire illuministica o paleopositivistica) a ritenere poco interessante o addirittura insensato il discorso che non corrisponde a quella convenzione, magari nella forma precisa dell'«osservazione e del calcolo»: e questa tendenza può apparire non troppo soddisfacente oggi, dopo i travagli novecenteschi del neopositivismo e la raggiunta convinzione circa la gratuità, se non circolarità viziosa, dei bandi contro i «discorsi insensati». Ma si deve ben sottolineare il fatto che, nonostante tale tendenza, la riflessione epistemologica



(17) *Oeuvres*, cit., vol. VI, p. 448.

di Laplace riesce a cogliere con grande precisione l'importanza di individuare i caratteri della scienza non in base a un criterio empirico di significanza, ma secondo le procedure di controllo effettivamente adottate (18).

---

(18) La tendenza di Laplace a fare del discorso scientifico l'unico discorso significante appare anche dai cenni, in realtà pochi, ch'egli fa al discorso morale e politico. Così, nelle *Leçons de mathématiques* (*Oeuvres*, cit., vol. XIV, p. 173) egli osserva: «*Verità, giustizia, umanità*, ecco le leggi eterne nell'ordine sociale che deve poggiare unicamente sui veri rapporti dell'uomo con i suoi simili e con la natura; esse sono tanto necessarie al suo mantenimento quanto la gravitazione universale all'esistenza dell'ordine fisico». E tale tendenza, del resto, pare proprio riallacciarsi (pur senza richiami espliciti) alla tradizione lockiana e humiana di derivare tutte le nostre idee dalle idee semplici e dalle impressioni sensibili; cioè, a quella prospettiva in cui il controllo empirico richiesto dalla scienza moderna sin dal suo costituirsi viene confuso con l'istanza di dare una fondazione puramente empirica a tutto l'apparato concettuale della scienza. Significativa in proposito è l'accettazione dell'associazionismo come principio a cui «si raccorda l'uso dei segni e delle lingue per il richiamo delle sensazioni e delle idee, per la formazione e l'analisi delle idee complesse, astratte e generali, e per il ragionamento. Parecchi filosofi hanno ben sviluppato questo argomento, che, sino al presente, costituisce la parte reale della Metafisica» (*Oeuvres*, cit., vol. VII, p. CXXV). Questa analisi riduttiva è dunque il solo aspetto che Laplace trova positivo nella «metafisica», che in genere va accantonata come qualcosa di oscuro (cfr. *Recherches sur le calcul intégral aux différences partielles* [1777] in *Oeuvres*, cit., vol. IX, p. 6). Ed è in questo senso ch'egli parla di «principi metafisici su cui è fondato il nostro sistema di numerazione» (*Oeuvres*, cit., vol. XIV, p. 20) quando nelle *Leçons de mathématiques* abbozza la sua filosofia del simbolismo: «Si è osservato, in generale, che tutte le idee complesse erano composte da idee semplici, combinate tra loro, seguendo dei modi generali. Per conseguenza s'è cercato di esprimere le idee semplici e questi modi con parole particolari; e così l'immensa varietà delle idee complesse s'è potuta esprimere con un piccolo numero di parole. E' su questo principio ch'è fondato il meccanismo delle lingue. Voi comprendete che la lingua filosoficamente più perfetta sarebbe quella in cui si potesse esprimere il più gran numero di idee con il più piccolo numero di parole possibili» (ibid., p. 15).

Dato questo sfondo, su cui compare il miraggio del linguaggio ideale a base empirica, è tanto più importante ed originale – come s'è visto nel testo – che Laplace non abbia ridotto al criterio empirico di significanza l'istanza scientifica del controllo «pubblico». Ad ulteriore conferma di ciò mi pare significativo il seguente brano dell'*Exposition du Système du Monde* (*Oeuvres*, cit., vol. VI, pp. 463 - 4) in cui si caratterizza il concetto di teoria scientifica. «Questo grand'uomo [Newton] avrebbe senza dubbio meritato il rimprovero di ristabilire le proprietà occulte s'egli si fosse accontentato d'attribuire all'attrazione universale il moto ellittico dei pianeti e delle comete, le ineguaglianze del moto della Luna, quelle dei gradi terrestri e del peso, la precessione degli equinozi e il flusso e riflusso del mare, senza mostrare il legame del suo principio con i fenomeni. Ma i geometri, rettificando e generalizzando le sue dimostrazioni, avendo trovato il più perfetto accordo tra le osservazioni e i risultati dell'Analisi, hanno unanimemente adottato la sua teoria del sistema del mondo, divenuta per le loro ricerche la base di tutta l'Astronomia. Questo legame analitico di fatti particolari con un fatto generale è ciò che costituisce una teoria». Laplace stesso evidenzia questo metodo nei titoli («Confronto della

Per una miglior penetrazione dell'epistemologia di Laplace è tuttavia ora opportuno passare dall'enucleazione dei presupposti generali e filosofici della sua dottrina della scienza alla considerazione delle sparse indicazioni ch'egli ci ha lasciato circa problemi più specificamente metodologici.

Credo che a questo scopo sia utile una precisazione circa il carattere dominante della maggior parte del lavoro scientifico svolto da Laplace. E' un carattere particolarmente evidente nella sua produzione astronomica (preponderante pure dal punto di vista quantitativo), ma del pari riscontrabile anche nella sua attività di fisico (con lo studio della capillarità, della rifrazione della luce, della teoria del calore) e di matematico (con gli approfondimenti nel campo dell'analisi e, soprattutto, con la sistemazione ed elaborazione del calcolo delle probabilità). Si tratta del carattere che fa di Laplace un esempio insigne e forse insuperato di scienziato «normale». E' ovvio che l'aggettivo non va preso in senso psicologico o psichiatrico, poiché penso che non sia epistemologicamente interessante la distinzione degli scienziati in «normali» e «anormali»; mi rifaccio palesemente alla ben nota distinzione fatta dal metodologo e storico della scienza Thomas S. Kuhn nel suo studio su *La struttura delle rivoluzioni scientifiche* (19), distinzione ch'è al centro delle discussioni epistemologiche dell'ultimo quindicennio.

Secondo questa concezione, sia pur schematizzando, si può così delineare lo sviluppo di una scienza. In un primo momento, all'inizio della ricerca in un campo specifico, vi sono «scuole» concorrenti, rivendicanti ciascuna propri princìpi teorici nell'interpretare i fenomeni in questione. In seguito, a poco a poco, le «scuole» lasciano il campo ad un'unica comunità di scienziati di quel particolare campo di indagine. E' questo il momento caratteristico della scienza normale, per cui sono certo importanti alcune note sociologiche riguardanti la comunità scientifica, ma che è individuata soprattutto dall'accettazione da parte di tutti i membri della comunità di un comune *paradigma* o, come Kuhn preferisce ora dire, di una comune «matrice disciplinare». Si tratta, cioè, di quell'intreccio di

---

teoria precedente con le osservazioni») di numerosi capitoli del suo *Traité* (cfr.: libro III, cap. 5; IV, 4; VII, 4, ecc.). La stessa tesi è esposta in un saggio di fisica del 1806, *De l'adhésion des corps à la surface des fluides* (*Oeuvres*, cit., vol. XIV, p. 251 - 2), nel quale, parlando del confronto con l'esperienza della teoria dell'azione capillare, Laplace afferma: «Questi confronti sono la vera pietra di paragone delle teorie, che non lasciano più niente a desiderare quando per loro mezzo si può non solo prevedere tutti gli effetti che devono risultare dalle circostanze date, ma anche determinarne esattamente la quantità».

(19) Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, in *International Encyclopedia of Unified Science*, vol. II, 2, Chicago, Univ. of Chicago Press, 1962 (trad. it., *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Torino, Einaudi, 1969). Del testo inglese c'è una seconda edizione riveduta del 1970.

generalizzazioni simboliche e di teorie esplicative (magari con il loro implicito patrimonio di convinzioni metafisiche ed assiologiche), mediante il quale i membri della comunità scientifica riescono a risolvere i problemi specialistici assai meglio di quanto non riuscissero le «scuole» contrapposte. Un esempio di paradigma può essere quello per cui l'astronomia classica accompagna il suo geostaticismo con la tesi della circolarità e uniformità dei moti celesti. Accettare un paradigma vuol dire, per gli scienziati, prendere atto dei successi da esso ottenuti e confidare nella promessa di ulteriori successi, sia nell'approfondire un singolo problema sia nell'affrontarne numerosi altri: e la scienza normale consiste appunto «nella realizzazione di quella promessa» (20). Nel corso di tale realizzazione, tuttavia, i membri della comunità scientifica possono imbattersi in anomalie irrisolvibili con gli schemi e le strutture teoriche di cui dispongono. La resistenza al cambiarli è quasi sempre fortissima: ma s'apre in ogni caso una «crisi» che può sfociare in un momento «rivoluzionario» della scienza che mette in discussione la vecchia matrice disciplinare e si attua con l'elaborazione di un nuovo paradigma, che sia in grado di risolvere, oltre ai problemi già risolvibili in precedenza, anche l'anomalia che aveva generato la crisi.

Gli storici della scienza sono per lo più affascinati dai momenti della scienza «rivoluzionaria», poiché in essi i mutamenti di paradigma sono sovente accompagnati da un più vasto e profondo sconvolgimento di abitudini mentali e di modi di pensare non concernenti soltanto la scienza. Ma sarebbe un errore sottovalutare l'importanza che, per la ricerca scientifica nel suo complesso, hanno anche i momenti «normali» della scienza. Estendere la conoscenza dei fatti che il paradigma esplica e meglio articolare e giustificare il paradigma stesso sono ciò che occupa la maggior parte dell'attività di uno scienziato. E l'uso del termine «rompicapo», fatto dal Kuhn per indicare i problemi tipici dei momenti normali della scienza, non deve trarre in inganno: non si tratta affatto di questioni oziose o marginali, ed il nome di «rompicapi» si adatta ad esse solo perché, come nei giochi omonimi, si confida nella possibilità di soluzione mediante il paradigma. Senza i «rompicapi» della scienza normale non ci sarebbero in realtà nemmeno i momenti affascinanti delle rivoluzioni scientifiche.

Nel caso di Laplace, è evidente che i «rompicapi» ch'egli affronta nascono dall'accettazione del paradigma newtoniano della gravitazione universale e dalla esigenza di meglio articolarlo, giustificarlo e usarlo per esplicare una molteplicità di fatti. Tutte le sue indagini astronomiche che precedono e accompagnano la lunga elaborazione della sintesi del *Traité de mécanique céleste* (di cui il I e II volume escono nel 1799 e l'ultimo, il quinto, nel 1825) sono esempi di problemi

---

(20) Thomas S. Kuhn, *op. cit.*, trad. it., p. 44.

tipici della scienza normale, poiché Laplace riesce, entro limiti molto ampi, a superare le difficoltà che la teoria newtoniana, nonostante i suoi successi di carattere generale, incontrava nell'accordare con precisione gli elementi teorici con quelli osservativi in tutti i problemi specifici sollevati dai fenomeni celesti. Egli corona l'opera di perfezionamento della teoria della gravitazione che tanto aveva occupato gli scienziati settecenteschi.

Non è qui possibile seguire partitamente i lavori di Laplace sull'accelerazione secolare del moto medio della Luna (21), sulle equazioni secolari di Giove e Satur-

---

(21) E' tuttavia opportuno dare alcune testimonianze del modo in cui Laplace intendeva il proprio lavoro. Nella memoria *Sur l'équation séculaire de la Lune* presentata nel 1786 e pubblicata nel 1788 nei *Mémoires* de l'Académie des Sciences (cfr. *Oeuvres*, cit., vol. XI, pp. 243-4), Laplace osserva che già Hallèy s'era accorto dell'accelerazione del moto medio della luna e che astronomi successivi (come Dunthorne e Mayer) avevano cercato di formulare l'equazione di tale accelerazione in ragione del tempo. «Ora, qual è la causa di questo fenomeno? la gravitazione universale, che ci ha fatto conoscere così esattamente le numerose ineguaglianze della Luna, rende egualmente ragione della sua equazione secolare? Queste questioni sono tanto più interessanti da risolvere che, se vi si perviene, si avrà la legge delle variazioni secolari del moto della Luna, la quale legge ci è ancora sconosciuta, perché ben si percepisce che l'ipotesi di un'accelerazione proporzionale ai tempi, ammessa dagli astronomi, non è che approssimata e non deve punto estendersi a un tempo illimitato». Per esplicare tale equazione si è stati forzati a ricorrere a ipotesi differenti, come la resistenza dell'etere, la trasmissione successiva della gravità, l'azione delle comete, ecc. Anche Laplace s'è occupato di tali ipotesi. Ma «la corrispondenza degli altri fenomeni celesti con la teoria della gravitazione è così perfetta e così soddisfacente che non si può vedere senza rimpianto l'equazione secolare della Luna rifiutarsi a questa teoria e costituire essa sola eccezione a una legge generale e semplice, la cui scoperta, per la grandezza e varietà degli oggetti che abbraccia, fa tanto onore allo spirito umano. Tale riflessione mi ha determinato a considerare di nuovo questo fenomeno e, dopo qualche tentativo, sono infine pervenuto a scoprirne le cause». E la soluzione del «rompicapo» (soluzione che fu tuttavia all'origine di un nuovo «rompicapo» per gli astronomi della seconda metà dell'Ottocento, dopo i nuovi calcoli di John Couch Adams) consistette nel far dipendere l'equazione secolare della Luna dall'azione del Sole combinata con la variazione dell'eccentricità dell'orbita terrestre.

Analogamente, nella memoria *Théorie de Jupiter et de Saturne* (1788), Laplace osserva: «Fino al presente, la teoria della gravitazione universale non ha potuto rendere ragione di questi fenomeni [accelerazione o rallentamento dei moti di Giove e di Saturno sulla base delle osservazioni antiche e moderne]; non si vede nemmeno, nei risultati analitici a cui sono pervenuti i geometri su questo argomento, qualcosa che possa condurli a esplicarli. Io mi propongo qui di far vedere che, lungi dall'essere un'eccezione al principio della gravitazione, essi ne sono una conseguenza necessaria, e che essi presentano una nuova conferma di questo mirabile principio» (*Oeuvres*, cit., vol. XI, p. 95). «Uno degli oggetti più interessanti dell'Astronomia è di constatare di più in più l'accordo della teoria con le osservazioni e di vedere se cause estranee al nostro sistema non vengono a turbarne i moti» (ibid., p. 212). E, nel *Mémoire sur le flux et reflux de la mer* (1797), ritorna a proposito di questo problema — «il più spinoso di tutta la

no, dai quali risulta che anche le cosiddette perturbazioni «secolari» dei corpi celesti nel loro moto sono periodiche, sicché si può concludere a una stabilità del sistema solare, o le sue ricerche sulle maree, sulla forma della terra e così via. Ma il loro orientamento è ben chiarito dalla prefazione al volume III del *Traité* (22). Dopo aver delineato il cammino percorso nella prima parte dell'opera, dai princìpi generali dell'equilibrio e dei moti della materia alla legge della gravitazione universale, che permette le espressioni generali dei moti di un sistema di corpi ad essa sottomessi; e dopo averne fatti derivare i fenomeni delle maree, della precessione degli equinozi e via di seguito, Laplace osserva: «Ne abbiamo dedotte le più importanti ineguaglianze dei pianeti, e specie quelle di Giove e Saturno, il cui periodo abbraccia più di novecento anni e che, non offrendo agli osservatori che delle anomalie di cui ignoravano le leggi e le cause, sono parse a lungo fare eccezione alla teoria della gravitazione. più approfondita, essa le ha fatte conoscere, ed ora queste ineguaglianze ne sono una delle prove più sorprendenti». Sicché la seconda parte dell'opera, sulla stessa linea, approfondirà le perturbazioni dei moti dei pianeti e delle comete attorno al Sole, della Luna attorno alla Terra e dei satelliti attorno ai pianeti. essa sarà «specialmente consacrata alla perfezione delle tavole astronomiche». Non che Laplace calcoli personalmente tali tavole, ma le incoraggia, e le sue formule ne forniscono la base. E' in questo senso che va intesa la famosa affermazione laplaciana che apre il *Traité*: «L'Astronomia, considerata nel modo più generale, è un grande problema di Meccanica . . .; ciò che importa massimamente è di bandire da essa ogni empirismo e di costringerla a non attingere dall'osservazione che i dati indispensabili» (23).

Meccanica celeste» – una notazione analoga: «Tutta la mia teoria è d'altronde rigorosa e fondata sul principio del movimento dei fluidi . . . Ho avuto la soddisfazione di vedere che i miei risultati si avvicinavano alle osservazioni soprattutto riguardo alla poca differenza che esiste tra le due maree di uno stesso giorno, verso le sigizie dei solstizi, differenze che, seguendo la teoria di Newton, sarebbe assai considerevole nei nostri porti» (*Oeuvres*, cit., vol. XII, p. 4). Sono solo esempi di una serie di documenti che potrebbe continuare numerosa.

(22) *Oeuvres*, cit., vol. III, pp. IX - X.

(23) Non si tratta quindi della contrapposizione filosofica, in generale, di tesi «razionalistiche» a tesi «empiristiche». Siamo di fronte a una conseguenza metodologica derivante dalla soluzione di questioni «normali» entro la prospettiva del paradigma newtoniano. Si vedano le due memorie su la *Théorie des satellites de Jupiter* (1791 e 1792): «Mi propongo in questa opera di dare una teoria *completa* delle perturbazioni che provano i satelliti di Giove e di presentare agli Astronomi le ricchezze che l'Analisi può fornire per perfezionare le Tavole del moto di questi astri» (*Oeuvres*, cit., vol. XI, p. 309). «Così la teoria non solo ha spiegato le cause delle ineguaglianze che le osservazioni hanno fatto conoscere, ma essa ha sviluppato le

Anche gli studi di Laplace sulla rifrazione della luce, le sue ricerche sulla costruzione di apparecchi barometrici rientrano in questo orientamento generale di perfezionamento del paradigma newtoniano. E in certo modo vi rientrano anche le sue indagini sui fenomeni della capillarità, sfocianti in una teoria basata sull'attrazione delle molecole dei corpi la quale cessa d'essere percepibile a distanze percepibili. Era già l'idea avanzata da Newton nell'*Ottica*; ma Laplace fa ciò che Newton non aveva fatto, cioè, sottopone al calcolo la legge principale dei fenomeni capillari, l'elevazione o depressione dei liquidi in ragione inversa del diametro dei tubi: «non basta, per esplicare gli effetti della natura, farli dipendere vagamente da un principio, bisogna provare con il calcolo che questi effetti ne sono una conseguenza necessaria (24). L'idea regolativa di tutto il suo lavoro di scienziato «normale» – cioè approfondimento e generalizzazione del paradigma newtoniano – spinge addirittura Laplace a porre la congettura dell'identità delle forze attrattive, di quella che si estende indefinitamente nello spazio e di quelle che cessano di essere sensibili alle più piccole distanze percepibili. L'aspirazione è di riportare «a una sola legge generale tutti i fenomeni della Fisica e della Astronomia», anche se l'impossibilità di conoscere le figure e le distanze delle molecole lascia ancora nel vago un'esplicazione di questo genere (25). E non rientra ancora nella «filosofia naturale» un'esplicazione che non sia «fondata sul calcolo» (*Oeuvres*, cit., vol. V, p. 189).

---

leggi di tutte le ineguaglianze che, combinandosi tra loro, offrivano agli occhi degli astronomi dei risultati troppo complicati, perché essi potessero districare le ineguaglianze semplici da cui erano formate. Essa ha bandito ogni empirismo dalle Tavole dei satelliti di Giove, e quelle che il signor de Lambre [Delambre] ha pubblicato nella terza edizione dell'*Astronomie* del signor de la Lande [Lalande] essendo fondate sulla teoria della gravitazione universale, hanno il vantaggio di estendersi a tutti i tempi, rettificando i dati che l'osservazione da sola può determinare» (ibid., pp. 471 - 72). Ferma restando l'esigenza del controllo empirico delle teorie, l'approfondimento dei paradigmi di queste risparmia per Laplace il ricorso rapsodico alla raccolta di dati. E ciò vale anche per la Fisica che «perfezionandosi rientra nel dominio dell'Analisi» (*Oeuvres*, cit., vol. VI, p. 384): in un saggio del 1811 sulla depressione del mercurio in un tubo di barometro, dovuta alla capillarità (*Oeuvres*, cit., vol. XIII, p. 71), Laplace osserva che conviene fondare sulla teoria dell'azione capillare «le tavole delle depressioni del mercurio e non ricavare dall'osservazione che i dati indispensabili, come si fa in Astronomia».

(24) *Considérations sur la théorie des phénomènes capillaires* (1819), in *Oeuvres*, cit., vol. XIV, p. 259.

(25) *Exposition*, in *Oeuvres*, cit., vol. VI, pp. 391 - 2. L'esigenza di spingere l'applicazione del paradigma dell'attrazione a tutti i fenomeni della fisica pare, del resto, confortata per Laplace anche dalla legge di Coulomb: «La natura ci offre, nei fenomeni elettrici e magnetici, delle forze repulsive che seguono la stessa legge della gravitazione universale» (ibid., p. 347).

Il fatto che l'attività scientifica di Laplace sia tipicamente «normale» ci aiuta forse a comprendere perché in lui manchi una trattazione epistemologica esplicita: una riflessione di questo genere è particolarmente stimolata nei momenti rivoluzionari della scienza, quando non si tratta di sviluppare un modo di pensare, ma di mettere in questione gli stessi modi tradizionali di pensare. E la sua accettazione del paradigma newtoniano dei *Principia*, rende conto, inoltre, del fatto che così spesso i suoi sparsi cenni epistemologici riecheggino alcuni motivi tipici da Newton fissati all'inizio del libro III, nelle «Regole del filosofare», e alla fine dell'opera, nello «Scolio Generale»: si pensi, soprattutto, all'insistenza sulla induzione come metodo della scienza e alla celebre dichiarazione *Hypotheses non fingo*.

Già s'è visto come Laplace celebri, contro la filosofia tradizionale il «metodo delle induzioni», che consiste nell'«elevarsi alle leggi generali con la considerazione dei casi particolari» (26) e nell'uso dell'analogia, come probabilità che «le cose simili abbiano cause dello stesso genere e producano gli stessi effetti» (27). E, del pari, si incontra spesso in lui la dichiarazione che ci si può elevare «senza ipotesi» al principio della gravitazione universale (28). Anzi, l'uso dell'immaginazione nell'inventare ipotesi, il prenderla per guida finisce per «mutilare l'opera della natura» creando «vani fantasmi» (29). Anche a proposito di questi temi più

(26) *Leçons*, in *Oeuvres*, cit., vol. XIV, p. 41.

(27) *Théorie*, in *Oeuvres*, cit., vol. VII, p. CXLI.

(28) Cfr., per esempio, *Traité*, Préface al libro VI, in *Oeuvres*, cit., vol. III, p. IX; *Exposition*, in *Oeuvres*, cit., vol. VI, p. 201.

(29) *Exposition*, in *Oeuvres*, cit., vol. VI, p. 441. In questa prospettiva, Laplace fa di Keplero il bersaglio della sua critica: «Ci si deve stupire che Keplero non abbia applicato alle comete le leggi del movimento ellittico. Ma, sviato (*égaré*) da un'immaginazione ardente, egli lasciò sfuggire il filo dell'analogia che doveva condurlo a questa grande scoperta. [...] Invece di elevarsi penosamente, con un seguito di induzioni, dai fenomeni più particolari ad altri più estesi e da questi alle leggi generali della natura, era più piacevole e più facile subordinare tutti i fenomeni a dei rapporti di convenienza e di armonia, che l'immaginazione creava e modificava a suo piacimento. Così, Keplero esplicò la disposizione del sistema solare con le leggi dell'armonia musicale. E' affliggente per lo spirito umano vedere questo grand'uomo, anche nelle sue ultime opere, compiacersi con delizia di queste speculazioni chimeriche, e considerarle come l'anima e la vita dell'astronomia» (ibid., p. 445). Ma non è meno affliggente, oggi, constatare come il senso storico di Laplace – che pur lo porta nel *Traité*, nell'*Exposition* e nella *Théorie* a seguire lo sviluppo della scienza come lavoro successivo di uomini e generazioni – rimanga talvolta bloccato dall'applicazione di schemi illuministici: in fin dei conti qui egli non fa altro che rimproverare a Keplero di non essere Newton. Senza quelle «speculazioni chimeriche» ci sarebbe stata la determinazione delle leggi del moto planetario, esplicate poi da Newton con il principio della gravitazione universale?

strettamente metodologici, parrebbe dunque che Laplace indulgesse a quelle inclinazioni empiristiche, tipiche della cultura illuministica, che abbiamo già visto operanti quando s'è trattato dell'entusiasmo laplaciano per la scienza.

Ma gli spunti epistemologici di Laplace sono ricchi di felici contrasti, e, come s'è vista emergere, dallo sfondo della fondazione empiristica, la ben più controllata istanza del controllo empirico della scienza, così la pratica effettiva della ricerca gli fa non di rado contraddire i temi del paradigma metodologico newtoniano, che altre volte, magari a distanza di poche righe, fa propri. Ad esempio, nella stessa pagina (30), in cui indica «gli scogli che deve temere colui che prende la sua immaginazione per guida», dichiara anche che «il filosofo veramente utile al progresso della scienza è colui che, riunendo con un'immaginazione profonda una gran severità nel ragionamento e nelle esperienze, è al contempo tormentato dal desiderio di elevarsi alle cause dei fenomeni e dal timore di ingannarsi su quelle ch'egli loro assegna».

In modo analogo, mentre talvolta vede il pregio della teoria della gravitazione in un suo presunto procedere «senza ipotesi», basandosi solo sul metodo delle induzioni, altre volte – con uno stile assai simile a quello di un epistemologo d'oggi – afferma: «Se l'uomo si fosse limitato a raccogliere dei fatti, le scienze non sarebbero che una nomenclatura sterile» (31). Bisogna confrontare i fatti tra loro, cogliendone i rapporti: e per ciò è indispensabile formulare ipotesi, che non nascerebbero mai dalla pura induzione. «Tale è la debolezza dello spirito umano che esso ha sovente bisogno di aiutarsi con ipotesi per legare i fatti tra loro» (32). Così la teoria tolemaica degli eccentrici e degli epicicli è un'ipotesi che permette di rappresentare le apparenze celesti; e il suo pregio sta nell'aver dato il mezzo per sottoporre tali apparenze al calcolo: mediante le successive osservazioni essa poi si «è trasformata nel vero sistema dell'universo» (33). Quindi, la formulazione di ipotesi è parte integrante della ricerca scientifica. «Limitando le ipotesi a questo uso, evitando di attribuire loro una realtà che non hanno affatto, e rettificandole senza cessa con nuove osservazioni, si giunge infine alle cause vere, o almeno alle leggi dei fenomeni. La storia della filosofia ci offre più d'un esempio

(30) *Exposition*, in *Oeuvres*, cit., vol. VI, p. 441.

(31) ibid., p. 52. E spesso Laplace parla di *génie* (*Oeuvres*, cit., vol. VI, p. 162), di *grande adresse* (ibid., p. 462), di *grande sagacité* (*Oeuvres*, cit., vol. VII, p. CXXXIX), di *tact* (*Oeuvres*, cit., vol. XIV, p. 151) come qualcosa di necessario per decifrare (*démêler*) le leggi generali della natura impresse in tutti i casi particolari.

(32) *Traité*, Préface al libro VI, in *Oeuvres*, cit., vol. III, p. XI.

(33) *Exposition*, in *Oeuvres*, cit., vol. VI, p. 52.

dei vantaggi che possono così procurare le ipotesi, e degli errori a cui ci si espone facendone delle realtà (*en les réalisant*) (34).

Che significa non dare realtà alle ipotesi? Dal contesto mi pare che Laplace voglia semplicemente esortare a non farne qualcosa di assoluto e definitivo: si tratta di non considerare mai esaurito il controllo delle ipotesi o, come si direbbe con espressione oggi di moda, di lasciare sempre aperta la loro «falsificabilità». Ma l'affermazione suddetta ha indotto alcuni interpreti (35) a vedere in Laplace una concezione strumentalistico-economica della scienza, come elaborazione di teorie a cui è indifferente la verità e che mirano soltanto a organizzare più o meno bene «entro schemi razionali i dati offerti dall'osservazione». A ciò può forse avere inclinato l'insistenza di Laplace nel dichiarare che «le cause prime e la natura intima degli esseri ci saranno eternamente sconosciute» (36) e che «noi non possiamo osservare e conoscere che dei rapporti» (37). O anche l'uso strumentale ch'egli fa della matematica nei cui confronti non sente il bisogno di approfondimento dei fondamenti: Laplace partecipa all'ebbrezza algoritmica tipica del Settecento, tutto preso dall'utilità della matematica per la ricerca fisica, e accantona, come «sottigliezze di una falsa metafisica» (38), l'esame dei concetti e delle proposizioni elementari della matematica.

---

(34) *Traité*, Préface al libro VI, in *Oeuvres*, cit., vol. III, p. XI. Concetti analoghi, quasi con le stesse parole, anche nell'*Exposition*, in *Oeuvres*, vol. VI, p. 420.

(35) Cfr., ad esempio, Orietta Pesenti Cambursano, nella «Introduzione» alla scelta antologica delle *Opere* di Laplace, pubblicata a Torino dalla Utet per la collezione «Classici della scienza». In particolare, pp. 18 - 9.

(36) *Exposition*, in *Oeuvres*, cit., vol. VI, p. 6. Più avanti (p. 343), a proposito di eventuali interrogativi sul principio della gravitazione (se sia una legge primordiale della natura o un effetto generale di una causa sconosciuta) Laplace osserva: «Qui l'ignoranza in cui siamo delle proprietà intime della materia ci arresta e ci toglie ogni speranza di rispondere in maniera soddisfacente a tali questioni». Laplace ama citare il detto di Montaigne, «l'ignorance et l'incuriosité sont un mol et doux chevet pour reposer une tête bien faite» (ibid., p. 449) e *Oeuvres*, cit., vol. VII, p. CXXXVIII.

(37) *Exposition*, in *Oeuvres*, cit., vol. VI, p. 345. Ma anche p. 349, a proposito delle «molecole elettriche». Nel *Mémoire sur la chaleur* (1784), che riporta le esperienze fatte in comune con Lavoisier, Laplace espone le ipotesi del calorico e della teoria cinetica del calore, ma si astiene dall'impegnarsi in una scelta: «Nell'ignoranza in cui siamo della natura del calore, non ci resta che bene osservare i suoi effetti, di cui i principali consistono nel dilatare i corpi, renderli fluidi e convertirli in vapore» (cfr. *Oeuvres*, cit., vol. X, pp. 151 - 4).

(38) *Leçons*, in *Oeuvres*, cit., vol. XIV, p. 80. E nella pagina precedente aveva osservato: «Anche le scienze più esatte racchiudono dei princìpi generali che si colgono con una specie di istinto, che non permette di dubitarne ed a cui è bene prima abbandonarsi».

Tale interpretazione, che fa di Laplace, in qualche modo, un continuatore di Osiander o un precursore di Mach, non mi pare tuttavia fondata. La validità strumentale della matematica, in primo luogo, non costituisce per Laplace un problema, poiché egli concepisce la matematica come frutto di una considerazione astrattiva e generalizzante a partire dalle grandezze, di cui l'estensione e la durata sono esperite come reali (39). Le strutture matematiche sono quindi strutture generalissime della realtà – i fenomeni della natura sono «i risultati matematici di un piccolo numero di leggi invariabili» (40) –; sicché, servendoci di esse, comprendiamo effettivamente i rapporti naturali e non organizziamo semplicemente in modo comodo le nostre esperienze. Non è certo un epigono di Osiander chi, come Laplace, di fronte all'ipotesi geostatica ed a quella eliostatica dichiara che molto importa per il «progresso dell'astronomia conoscere quali di questi due casi ha luogo nella natura» (41) e che «la semplicità, l'analogia e generalmente tutto ciò che caratterizza il vero sistema della natura» (42) sono a favore del moto della terra. E la semplicità, a cui Laplace fa riferimento, non riguarda solo il modo di funzionamento dell'intelletto umano: «la semplicità della natura non deve sempre misurarsi mediante quella delle nostre concezioni. Infinitamente variata nei suoi effetti, la natura non è semplice che nelle sue cause, e la sua economia consiste nel produrre un gran numero di fenomeni, spesso assai complicati, per mezzo di un piccolo numero di leggi generali» (43). Le leggi hanno per Laplace una corrispondenza reale; non sono solo finzioni mentali. E questo realismo non è cancellato dal fatto ch'egli ritiene che alla conoscenza scientifica non pertenga l'indagine sulle cause prime e sulla natura intima delle cose. Non si tratta di una limitazione negativa, bensì dell'espressione del carattere proprio della ricerca scientifica, che si differenzia dalla metafisica tradizionale appunto mediante il continuo controllo e la rinuncia alle verità assolute.

Vi sono «verità fisiche»; tuttavia, la loro certezza, relativa, non ha mai la necessità di una dimostrazione. Esse possono soltanto essere più o meno corroborate e ciò in proporzione al numero e alla «varietà dei fenomeni esplicati» e alla «semplicità delle leggi da cui li si fa dipendere» (44). E' questo grado di corro-

---

(39) Ibid., p. 12.

(40) Ibid., p. 10. Ma si veda anche la stessa affermazione nell'*Exposition*, in *Oeuvres*, cit., vol. VI, p. 443.

(41) *Exposition*, in *Oeuvres*, cit., vol. VI, p. 111.

(42) Ibid., p. 120.

(43) Ibid., p. 65.

(44) Ibid., p. 120.

borazione, mai definitivo, che Laplace chiama «verosimiglianza» (45), ed è da questa impostazione che deriva la grande importanza attribuita da lui al calcolo delle probabilità per tutta la ricerca scientifica, quel calcolo ch'è «un felice supplimento all'ignoranza e alla debolezza dello spirito umano» (46). Anche la determinazione statistica della verità fisica non è tuttavia per Laplace un semplice accorgimento soggettivo. Le pagine della *Théorie* in cui egli sembra confondere in un tutto unico il teorema di Bernoulli con la legge empirica del caso (47) sono assai indicative del suo «realismo»: per lui, la legge dei grandi numeri, che serve allo scienziato come strumento di scoperta, è tale in quanto legge obiettiva che la natura impone ai fenomeni (48).

Ritengo che solo in questa prospettiva, di una struttura legale della realtà che l'uomo può faticosamente e gradualmente scoprire, acquisti un senso preciso quel passo citatissimo dell'*Essai* (49), in cui Laplace appare come campione del determinismo. In realtà quel passo è già anticipato da uno analogo che risale al 1776 (50), e che qui cito per la sua maggior brevità: «Lo stato presente del sistema della natura è evidentemente una conseguenza di ciò che era al momento

---

(45) Ibid., p. 137. «Osserviamo qui come il vero sistema della natura, sviluppandosi, si confermi sempre di più. La semplicità dei fenomeni celesti nella supposizione del moto della Terra, comparata alla loro estrema complicazione in quella della sua immobilità, rende la prima di queste supposizioni assai verosimile. Le leggi del moto ellittico, comuni allora ai pianeti e alla Terra, aumentano assai questa verosimiglianza, che diviene ancora più grande con la considerazione del moto delle comete, assoggettate alle medesime leggi». Si veda, su questo tema, Karl Raimund Popper, *The Logic of Scientific Discovery* (1959), trad. it., *Logica della scoperta scientifica*, Torino, Einaudi, 1970, pp. 296 sgg.

(46) *Exposition*, in *Oeuvres*, cit., vol. VI, p. 306, Cfr. anche *Théorie*, in *Oeuvres*, cit., vol. VII, p. 9 e *Leçons*, in *Oeuvres*, cit., vol. XIV, p. 148.

(47) *Théorie*, in *Oeuvres*, cit., vol. VII, pp. XLVII sgg.

(48) Cfr. Marcello Boldrini e Angiolo Maros Dell'Oro, *Teoria e metodi della statistica*, Milano, Giuffrè, 1972: parte II, «Storia della statistica», p. 475.

(49) *Théorie*, in *Oeuvres*, cit., vol. VII, pp. VI - VII: «Dobbiamo dunque considerare lo stato presente dell'universo come l'effetto del suo stato anteriore e come la causa di quello che seguirà. Un'intelligenza che, per un istante dato, conoscesse tutte le forze da cui la natura è animata e la situazione rispettiva degli esseri che la compongono, se d'altra parte fosse così ampia da sottomettere questi dati all'Analisi, abbraccerebbe nella medesima formula i movimenti dei più grandi corpi dell'universo e quelli del più leggero atomo: nulla sarebbe incerto per essa, e l'avvenire, come il passato, sarebbe presente ai suoi occhi. Lo spirito umano offre, nella perfezione che ha saputo dare all'Astronomia un pallido abbozzo di questa intelligenza».

(50) Cfr. *Recherches sur l'intégration des équations différentielles aux différences finies et sur leur usage dans la théorie des hasards* (1776), in *Oeuvres*, cit., vol. VIII, p. 144.

precedente e, se noi concepiamo un'intelligenza che, per un istante dato, abbracci tutti i rapporti degli esseri di questo universo, essa potrà determinare per un tempo qualsiasi, preso nel passato o nell'avvenire, la posizione rispettiva, i moti e generalmente le affezioni di tutti questi esseri». Ciò esprime, in primo luogo, la convinzione di Laplace (ch'è anche la convinzione di chiunque faccia scienza) che la ricerca di leggi e regolarità, da sottoporre sempre a controllo, postula una struttura legale del mondo. Per Laplace «*tout se tient* nella catena delle verità» (51) perché «tutto è legato nella natura» (52). Questa lezione di «realismo», dopo tanto imperversare di interpretazioni economiche o strumentalistiche della scienza nell'epistemologia contemporanea, è forse uno dei risultati più preziosi della riflessione che Laplace condusse sul suo così brillante lavoro.

Ma non va dimenticato che questo lavoro rientra nel suo complesso nell'ambito della scienza «normale». Laplace lavora entro un paradigma ed i risultati che ottiene sono tali da fargli trascurare la storicità di esso e la possibilità di un suo mutamento. Egli ha bensì il senso storico del faticoso lavoro compiuto dalla scienza per pervenire al gran principio o legge della gravitazione. Ma tale gli pare la sua «verosimiglianza», che per il futuro egli vede solo un cammino rettilineo, un accumulo quantitativo di sempre nuovi risultati, senza nemmeno l'ombra di una possibile svolta «rivoluzionaria». Questa impostazione blocca talvolta lo sviluppo stesso della ricerca, come quando Laplace respinge la domanda sulla causa della gravità (il che equivale a chiedersi se la teoria di Newton è derivabile da una teoria più generale) o si rifiuta di decidere tra l'ipotesi del calorico e quella del moto delle molecole come causa del calore. Ciò gli pare un indulgere alla ricerca delle cause prime e delle nature intime delle cose: ma, in realtà, il suo rifiuto significa ch'egli non ritiene possibile mettere in discussione il paradigma da cui muove, cosicché in lui è forte la tentazione di fare di esso la rappresentazione ultima e definitiva della realtà. In tal modo, l'immagine dell'intelligenza onnicalcolante (a cui l'uomo cerca di approssimarsi nell'astronomia) non è più soltanto l'istanza di una legalità della natura, ma diventa espressione del determinismo meccanico, quasi che ci fosse un'«applicabilità illimitata delle leggi della dinamica settecentesca» e un'«integrabilità di tutte, senza eccezione, le equazioni differenziali cui tali leggi conducono nei singoli casi» (53).

---

(51) *Leçons*, in *Oeuvres*, cit., vol. XIV, p. 32.

(52) *Exposition*, in *Oeuvres*, cit., vol. VI, p. 325.

(53) Cfr. Ludovico Geymonat, *Storia del pensiero filosofico e scientifico*, vol. IV, Milano, Garzanti, 1971, p. 89. Per una rapida e penetrante rappresentazione degli sviluppi della fisica contrari all'ideale meccanicistico, cfr. Bruno Ferretti, *Fisica*, in *Enciclopedia del Novecento*, vol. II, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana, 1977, pp. 1031 sgg.

Questo è un mito che Laplace lascia in eredità a molta scienza ottocentesca: ma sarà proprio il cammino di questa che, a un certo punto, farà entrare in crisi quel mito. Momenti scientifici rivoluzionari porteranno alla costituzione di nuovi paradigmi e si oserà porre quelle domande che Laplace lasciava ai limiti della ricerca scientifica. Ma, caduto il mito, la comprensione che il cammino rettilineo della scienza prepara sempre nuove svolte ci permette ora di apprezzare non solo il lavoro positivo fatto da Laplace all'interno del suo paradigma, bensì anche i contributi che, nonostante i limiti, egli ha dato alla caratterizzazione di quella impresa avventurosa che è la scienza.

VITTORIO BANFI

L'origine del sistema solare secondo P.S. Laplace

1. L'ipotesi nebulare cosmogonica, desunta dall'opera di P. S. Laplace.

Nel suo trattato *Exposition du systeme du monde* (1796) P. S. Laplace propone, per la prima volta nella storia della scienza, un'ipotesi cosmogonica dell'intero sistema solare che si fonda su una solida base scientifica, quale la seconda metà del secolo XVIII poteva offrire.

Interessante è analizzare questo studio sull'origine del sistema solare come appare dallo stesso testo di Laplace [1].

«Dal capitolo precedente risulta che possiamo risalire alla causa dei movimenti primitivi del sistema planetario, considerando i cinque seguenti fenomeni: i movimenti dei pianeti nella stessa direzione e press'a poco su un medesimo piano; i movimenti dei satelliti nella stessa direzione di quelli dei pianeti, i movimenti di rotazione di questi diversi corpi e del Sole nella stessa direzione dei loro movimenti di proiezione su piani poco differenti; la scarsa eccentricità delle orbite dei pianeti e dei satelliti; infine la grande eccentricità delle orbite delle comete, sebbene le loro inclinazioni siano state abbandonate al caso».

E' importante notare come vengono considerate le peculiarità orbitali e rotazionali dei singoli componenti, includendo pianeti, satelliti e comete. Vi è cioè lo sforzo di abbracciare il più possibile tutti i dati empirici al fine di rintracciare una causa originante l'intero sistema. L'ipotesi base di partenza è per Laplace un protosistema costituito dal Sole circondato da un'immensa atmosfera fluida.

Su questa base Laplace concepisce un meccanismo mediante il quale, mercè la rotazione e le fasi di raffreddamento e contrazione successiva dell'atmosfera, la materia viene espulsa equatorialmente per poi condensarsi in protopianeti. Identico processo è ipotizzato per i sistemi di satelliti.

Si delineano pertanto i pilastri fondamentali della ipotesi in istudio:

1) essa è di tipo monogenetico, ossia si assume un unico corpo massiccio originario il Sole,

2) la formazione dei pianeti e dei satelliti deriva dall'atmosfera fluida circondante il Sole, senza che l'evoluzione di quest'ultimo influisca sul precedente processo,

3) i fenomeni fisici invocati sono di tipo meccanico: forze gravitazionali e centrifughe; di tipo termico: conduzione di calore, contrazione per raffreddamento e condensazione di aeriformi.

Laplace non si addentra in una spiegazione dettagliata, in veste analitica, del processo di formazione dei pianeti, ma piuttosto lo illustra in modo qualitativo.

«Qualunque sia la natura di questa [nube], dal momento che essa ha prodotto o diretto i movimenti dei pianeti, è necessario che abbia abbracciato tutti questi corpi, e, vista la distanza prodigiosa che li separa, essa non può esser stata che un fluido d'immensa estensione. Per aver loro dato nello stesso senso un movimento press'a poco circolare attorno al Sole, è necessario che questo fluido abbia circondato l'astro come un'atmosfera.»

Il ragionamento con cui Laplace spiega la formazione di pianeti, dai successivi anelli equatoriali, è sempre di tipo discorsivo. Infatti egli afferma «Se tutte le molecole di un anello di vapore continuassero a condensarsi, senza separarsi, esse col tempo formerebbero un anello liquido o solido. Ma la regolarità che il fenomeno richiede, in tutte le parti dell'anello, e nel loro raffreddamento ha dovuto rendere questo fenomeno estremamente raro. Così il sistema solare ne offre un solo esempio, quello degli anelli di Saturno». Per Laplace è quindi plausibile che, a causa delle inevitabili irregolarità presenti lungo ciascun anello, il materiale ha finito per condensarsi in un'unica massa sferoidale costituente il protopianeta. L'argomento delle irregolarità consente a Laplace di giustificare anche gli scostamenti, dalla «uniformità», attualmente riscontrati nel sistema solare: ad esempio la non complanarità delle orbite dei pianeti, la non «regolare» distribuzione della velocità di rotazione propria tra i vari pianeti ed altro ancora. Infatti egli afferma:

«Se il sistema solare si fosse formato con perfetta regolarità, le orbite dei corpi che lo compongono sarebbero dei cerchi, in cui piani, come quelli dei diversi equatori e degli anelli, coinciderebbero col piano dell'equatore solare. Ma si comprende come le innumerevoli varietà che sono dovute esistere nella temperatura e nella densità delle diverse parti di queste grandi masse abbiano prodotto le eccentricità delle loro orbite e la deviazione dei loro movimenti dal piano dell'equatore.»

Per concludere con la diretta enunciazione di Laplace, si osserva che egli considera le comete catturate dal sistema planetario, ma sostanzialmente ad esso estranee. Pertanto ciò, a ben vedere, coincide con le vedute contemporanee di Oort circa l'origine delle comete. Interessante infatti è osservare che Laplace, oltre ad avanzare l'ipotesi della cattura, assegna un ruolo fondamentale alla resistenza del mezzo dovuto al materiale diffuso nello spazio occupato dal sistema solare in formazione. Ad essa infatti è attribuibile la progressiva secolare trasformazione delle orbite, da iperboliche a paraboliche e successivamente ellittiche, delle comete stesse. Intuizione felice, che doveva essere rigorosamente dimostrata molti

anni dopo.

E' importante ora analizzare come l'ipotesi cosmogonica di Laplace sia stata studiata e ripensata dagli astronomi teorici e cosmogonisti a lui successivi, e quanto, dei concetti informatori della ricerca di Laplace, si sia propagato nella struttura delle moderne teorie circa l'origine del sistema solare.

2. Studi di H. Poincaré sull'ipotesi cosmogonica di Laplace.

Una lucida esposizione critica, dell'ipotesi cosmogonica in istudio, è stata condotta, dall'eminente fisico-matematico Henry Poincaré, nel suo trattato *Leçons sur les hypotheses cosmogoniques* del 1912 [2].

I punti base, assunti da Poincaré, per la trattazione analitica sono:

1) nebulosa a condensazione puntiforme centrale,

2) rotazione uniforme.

Ogni particella materiale è quindi soggetta a due forze: a) all'attrazione della massa puntiforme M diretta verso il centro della nebulosa stessa, b) alla forza centrifuga, perpendicolare all'asse di rotazione passante per M, con intensità uguale in tutti i punti di una circonferenza con centro sull'asse e giacente su un piano perpendicolare a quest'ultimo. Ne deriva che la forma della nebulosa sarà quella di un solido di rotazione attorno al predetto asse.

Poincaré considera una sezione meridiana qualunque come piano xy, l'asse y coincidente con quello di rotazione; e pertanto le curve meridiane corrispondenti alle superfici equipotenziali avranno per equazione

$$(1) \qquad \frac{GM}{\sqrt{x^2+y^2}} + \frac{\omega^2 x^2}{2} = C = \text{costante},$$

essendo G la costante universale di gravitazione di Newton, ω la velocità di rotazione uniforme ed M la massa del nucleo centrale, assunto puntiforme, il cui valore è di gran lunga superiore alla massa complessiva dell'atmosfera che lo circonda. In fig. 1 sono tracciate alcune curve per diversi valori di C. Allorché la costante C è molto grande, ciascuna curva si compone di un ramo chiuso, che circonda l'origine, e di due rami aperti simmetrici (rispetto all'asse y), come ad esempio la curva 1. Allorché C diminuisce la curva che circonda l'origine si dilata, i due rami aperti si ravvicinano costituendo la complessiva curva 2. Se la costante C diminuisce ancora si ottiene la curva 3 che presenta punti doppi A e A' sulla asse x, poi infine curve come la 4 che non intersecano più l'asse x. Le componenti verticale e orizzontale della forza agente in ogni punto sono

$$(2) \qquad R_x = \left(\omega^2 - \frac{GM}{r^3}\right)x$$

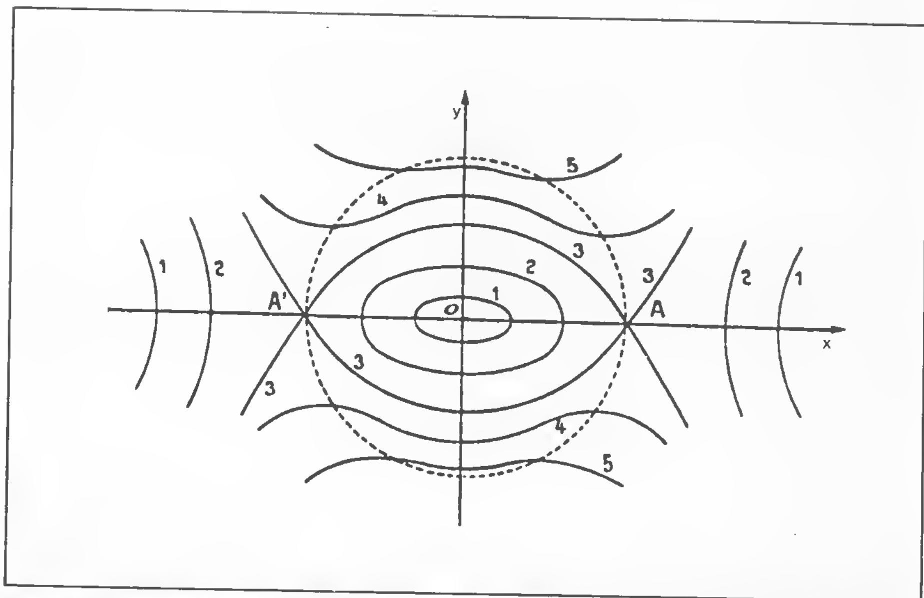


Figura 1. Sezione meridiana della famiglia di superfici di Roche, corrispondenti all'equazione (1).

$$R_y = -\frac{GM}{r^3}\,y$$

In cui $r = \sqrt{x^2 + y^2}$. in tutti i punti in cui sussiste la relazione

(3) $$\omega^2 - \frac{GM}{r^3} = 0,$$

vi è soltanto la componente verticale della forza agente; nel piano equatoriale si ha l'equilibrio relativo in quanto anche $R_y = 0$. I punti che si trovano su una circonferenza, il cui raggio è ricavato dalla (3) e risulta

(4) $$a = \sqrt[3]{\frac{GM}{\omega^2}}$$

ruotano con velocità angolare ω mantenendosi a distanza costante a dal centro 0. Le particelle materiali, che si trovano all'esterno di questa circonferenza nel piano equatoriale, sperimentano una forza diretta verso l'esterno e tenderanno a disperdersi nello spazio; quelle all'interno, soggette ad una forza diretta verso l'interno, tenderanno a muoversi verso il centro della figura chiusa, cosiddetta lenticolare, costituita (fig. 1) dai due rami della curva 3 compresi tra i due punti doppi A e A' (in cui vi è l'equilibrio relativo). E' particolarmen-

te utile, per ciò che seguirà, studiare le proprietà geometriche di detta figura lenticolare. La curva in istudio dovrà appartenere alla famiglia (1), essendo valida la condizione (4). Quindi dalla (1), dividendo per $GM/2$ ambo i membri, si ha

$$\frac{2}{\sqrt{x^2+y^2}} + \frac{\omega^2 x^2}{GM} = \frac{2C}{GM}$$

ossia anche

$$(2) \qquad \frac{2}{\sqrt{x^2+y^2}} + \frac{x^2}{a^3} = k \qquad \left[k = \frac{2C}{GM}\right]$$

Poiché però per $x = a$, $y = 0$, dalla (5) risulta $k = 3/a$; pertanto in definitiva si ottiene

$$(6) \qquad \frac{2a}{3\sqrt{x^2+y^2}} + \frac{x^2}{3a^2} = 1.$$

Esaminando la (6) si osserva che, introducendo le variabili $X = x/a$ e $Y = y/a$ si ricava facilmente

$$(7) \qquad X^2 + \frac{2}{\sqrt{X^2+Y^2}} = 3,$$

che esprima l'equazione normalizzata (in unità del raggio a) della curva lenticolare (curva meridiana della superficie lenticolare di rotazione attorno all'asse y come si vede in fig. 2). Dalla (7) si deduce che tali figure lenticolari sono omotetiche; raddoppiando, ad esempio, il raggio a raddoppiano tutte le dimensioni e la figura si mantiene simile alla precedente. Ciò accade quando risulta:

$$k = \frac{3}{a};$$

data una certa figura lenticolare, caratterizzata dalla terna di grandezze C, a, ω, si consideri un'altra figura lenticolare omotetica, individuata dalla terna C', a', ω'.

Dovrà essere

$$\frac{C}{a^2\omega^2} = \frac{C'}{a'^2\omega'^2}$$

se si pone $a' = \lambda a$ e $\omega' = \mu\omega$, si otterrà

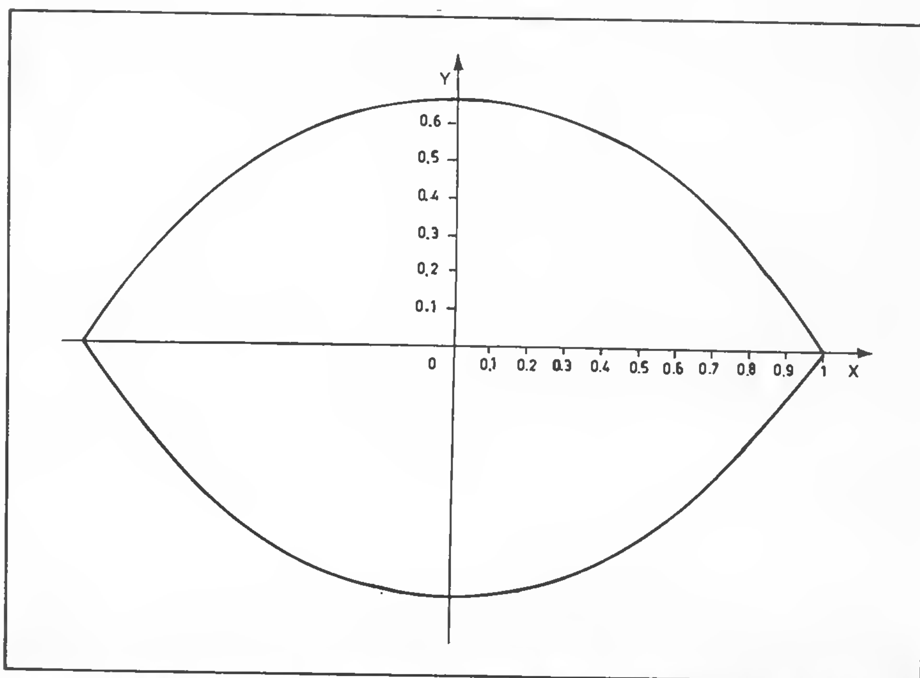


Figura 2. Sezione meridiana di una superficie lenticolare, corrispondente all'equazione (7).

$$\frac{Ca'^2\omega'^2}{C'a^2\omega^2} = 1$$

oppure

$$\frac{C}{C'}\lambda^2\mu^2 = 1. \tag{8}$$

La (8) conduce (per esempio) alla doppia condizione seguente:

$$\begin{aligned} C &= \lambda C' \\ \lambda^3\mu^2 &= 1. \end{aligned} \tag{9}$$

Premesse queste considerazioni analitiche, vediamo come esse possono utilizzarsi per spiegare il meccanismo evolutivo della nebulosa laplaciana. Si supponga che quest'ultima possegga una forma lenticolare, di quelle studiate, caratterizzata dalla terna M, ω e C. Immaginiamo ora che, per raffreddamento superficiale, una piccola parte più esterna dell'atmosfera si condensi e scivoli lungo le superfici di livello fino a raccogliersi nel piano equatoriale. Vi è stata una inapprezzabile perdita di massa, mentre è diminuito il volume.

La nuova superficie esterna, delimitante la nebulosa laplaciana, avrà come curva meridiana un'altra curva della famiglia di figura 1, avente $C_1 > C$, come ad esempio la 2.

Il raffreddamento, oltra a far condensare una scorza superficiale esterna, si propaga verso l'interno cioè verso il nucleo della nebulosa. Quest'ultimo, raffreddandosi subirà una contrazione e ciò causerà un aumento della velocità angolare. Tale effetto è conseguenza della conservazione del momento angolare di tutto il sistema, che è isolato nello spazio. La velocità angolare, aumentata nel

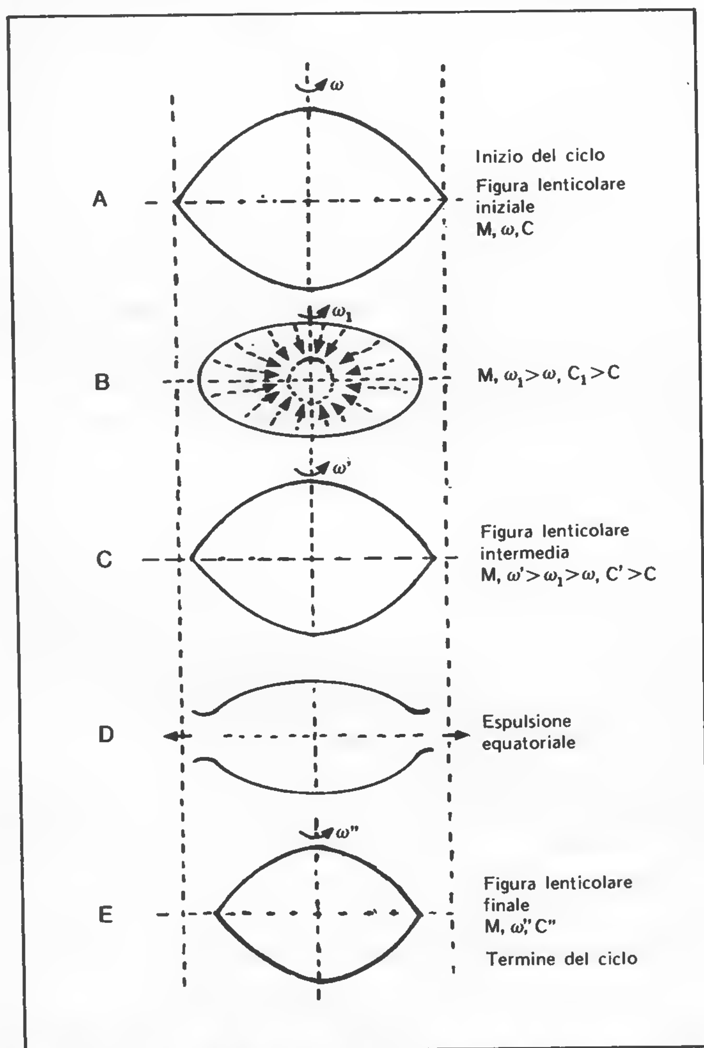


Figura 3. Fasi successive nel tempo (da *A* ad *E*) relative ad un ciclo completo di formazione di un anello.

nucleo, a causa degli attriti interni dell'atmosfera fluida è comunicata via via agli strati esterni. E' lecito supporre che, a transitorio esaurito, tutta la nebulosa abbia assunto una velocità uniforme e costante pari a $\omega'' > \omega$. Avviene però che si sia raggiunto un valore intermedio $\omega < \omega' < \omega''$, durante la fase di assestamento, che consente di far assumere alla nebulosa la forma lenticolare caratterizzata dalla seguente terna: $C' > C, \omega' > \omega, M$. Se risultano verificate le (9), con $\lambda < 1$, si otterrà una forma lenticolare più piccola di quella di partenza, omotetica ad essa con rapporto $\lambda = 0{,}87$ (nella fig. 3). Sempre per le (9) si ha

$$\lambda^3 \mu^2 = 1$$

e perciò $\mu = 1{,}25$, $\omega' = 1{,}25\ \omega$. Dopo aver nuovamente incorporato il poco materiale che aveva perduto all'inizio per la condensazione superficiale, nell'assestamento predetto la nebulosa assumerà una velocità angolare ancora più elevata $\omega'' > \omega$. E a questo punto che si ha l'espulsione equatoriale di materia, poiché la curva meridiana diventa del tipo 4 o 5, e questa materia espulsa si dispone a costituire un anello. La nebulosa rimanente, avendo perduto una parte del suo volume, riassume una figura lenticolare più piccola, caratterizzata dalla terna M, ω'', C'' (fig. 3). A questo punto inizia un nuovo ciclo, esattamente uguale al precedente, e si comprende come si siano ottenuti una serie di anelli concentrici, alla massa centrale, dai quali sono originati i pianeti.

A proposito della formazione di quest'ultima H. Poincaré aggiunge ben poco a quanto già descritto qualitativamente da Laplace. Alcune ulteriori spiegazioni qualitative, sulla questione della rotazione diretta dei pianeti, sono ricavate sulla base della III legge di Keplero.

3. Analisi critica della ipotesi di Laplace dal punto di vista meccanico.

L'analisi condotta da H. Poincaré è assai interessante ed ingegnosa. Essa si basa sullo studio delle figure omotetiche connesse alle superfici di Roche. Nel contesto della trattazione si parla di fluido, lasciando imprecisato se si tratti di un liquido oppure di un aeriforme. Comunque il modello base delle superfici di Roche consiste essenzialmente nel trascurare la reciproca attrazione delle singole particelle (punti di massa) ed invece nel considerare solo l'attrazione della massa centrale M e la forza centrifuga dovuta alla rotazione uniforme ω.

Ne risulta una analisi solo formalmente quantitativa, perché condotta mediante calcoli e deduzioni non ancorati su ordini di grandezza di ω in modo tale da poter giudicare sulla effettiva possibilità di emissione equatoriale di materiale di una data densità ρ. Tra l'altro quest'ultima è lasciata del tutto indeterminata anche perché il modello di Roche è, in fondo, una moltiplicazione del problema dei due corpi. Infatti vi è il corpo unico (fisso) di massa finita M e l'altro (variabile),

di massa trascurabile in confronto al primo, moltiplicato per un numero grandissimo (ma imprecisato) di volte nell'unità di volume spaziale. Il meccanismo evolutivo delle figure lenticolari presuppone una certa consistenza del fluido, costituente per così dire l'atmosfera che attornia il nucleo massiccio centrale, perché la densità deve essere sufficiente per consentire effetti fisici ben determinati, ossia attriti fra i vari strati sovrapposti e contigui e propagazione di calore tra periferia esterna e nucleo massiccio centrale, causanti il ciclo evolutivo stesso.

Sorge così un dilemma: o si considera la densità della atmosfera che circonda M assai piccola, e quindi il modello meccanico di Roche assai rispondente alla realtà, oppure una densità sufficientemente più alta, in guisa da consentire l'evoluzione termica e fluidodinamica precedentemente delineata, e in tal caso non è più corretto il modello di Roche, ma occorrerebbe piuttosto considerare la stabilità e la figura di equilibrio di una massa fluida ruotante, omogenea e di densità nota, con un nucleo centrale di massa M.

Considerato da un punto di vista globale, il problema dell'origine dei pianeti, secondo Laplace, pone il seguente quesito fondamentale: con una assegnata velocità ω l'atmosfera fluida circondante M è in grado di espellere equatorialmente il materiale che dovrà poi costituire i pianeti? Occorre facilmente una risposta a questo quesito basandosi su valori di ω e di M ragionevolmente scelti, esaminando gli attuali dati fisici inerenti al sistema solare.

Al tal uopo è utile un teorema affatto generale dello stesso H. Poincaré, che si riferisce ad una massa fluida omogenea di densità ρ, rotante alla velocità angolare costante ω. Considerando il volume V, delimitato dalla superficie σ, in fig. 4, vale la relazione

$$\iint_\sigma \frac{\mathrm{d}\mathcal{U}}{\mathrm{d}n}\,\mathrm{d}\sigma = -\iiint_V \Delta_2\,\mathcal{U}\,\mathrm{d}V$$

dove $\mathrm{d}V$ rappresenta l'elemento di volume, $\mathrm{d}\sigma$ l'elemento di superficie che delimita questo volume, $\mathrm{d}/\mathrm{d}n$ la derivata secondo la normale (positiva verso l'interno) ed $\mathcal{U}$ il potenziale tale agente

$$\mathcal{U} = \underbrace{V_1}_{\text{potenziale gravitazionale}} + \underbrace{\frac{\omega^2}{2}(x^2+y^2)}_{\text{potenziale centrifugo}}.$$

La stabilità esige che, in ogni punto della superficie σ, la forza totale sia diretta verso l'interno ossia che

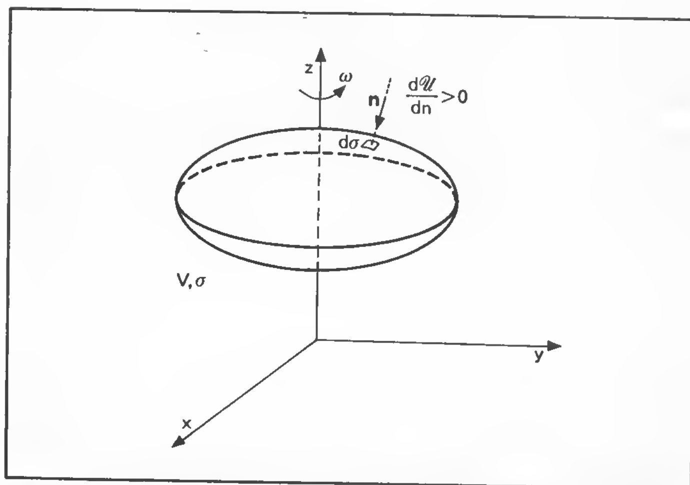


Figura 4. Situazione geometrico-cinematica atta ad illustrare il teorema di Poincarè.

$$\frac{d\mathcal{U}}{dn} > 0$$

e cioè

$$\iiint_V \Delta_2 \mathcal{U} \, dV < 0 \tag{10}$$

Essendo V_1 il potenziale gravitazionale, per la formula di Poisson, si ha

$$\Delta_2 V_1 = -4\pi\rho G;$$

inoltre

$$\Delta_2 \left[\frac{\omega^2}{2} (x^2 + y^2) \right] = 2\omega^2$$

e pertanto

$$\Delta_2 \mathcal{U} = -4\pi\rho G + 2\omega^2.$$

Si conclude che la (10) diventa

$$-4\pi\rho G + 2\omega^2 < 0;$$

si avrà stabilità allora se risulterà

(11) $$\rho \geqslant \frac{\omega^2}{2\pi G}.$$

Questo è noto come il teorema di Poincaré relativo alle masse fluide omogenee rotanti con velocità angolare uniforme.

In uno studio degli anni trenta G. Krall ha esteso questo teorema al caso che la massa fluida rotante abbia un nucleo centrale di massa M. Si rimanda per i dettagli del calcolo alla appendice; la formula ottenuta da Krall è la seguente:

(12) $$\rho + \frac{M}{V} \geqslant \frac{\omega^2}{2\pi G}.$$

La formula (11) risulta modificata nel modo seguente: anziché avere al primo membro semplicemente la densità del fluido ρ, si ha la somma di ρ e di una densità fittizia M/V corrispondente al caso in cui la massa M, concentrata in modo puntiforme, si diffonda uniformemente nel volume V.

Vediamo come si può utilizzare la (12) per il caso in istudio. Supponiamo che la densità sia piccola sì da considerare le superfici di equilibrio pressoché coincidenti con quelle di Roche. Si avrà emissione equatoriale di materiale se risulta al limite

$$\frac{\omega^2}{2\pi G} = \rho + \frac{M}{V}$$

ossia

(13) $$\frac{\omega^2}{2\pi G \dfrac{M}{V}\left(1 + \rho \dfrac{V}{M}\right)} = 1,$$

anzi ω leggermente superiore, per quanto prima detto. Studiamo ora il termine a sinistra del segno uguale, nella formula (13). La superficie lenticolare critica (cioè quella indicata in fig. 2) racchiude un volume che, con ottima approssimazione, è

(14) $$V = 0{,}72\pi a^3$$

in cui a è il raggio del cerchio equatoriale. Sostituendo la (14) nel primo membro della (13) si ottiene il numero K seguente:

(15) $$K = \frac{0{,}72\pi a^3 \omega^2}{2\pi G M} \frac{1}{1 + \rho \dfrac{V}{M}}$$

Detto numero K, tenendo conto della III legge di Keplero $\omega^2 a^3/GM = 1$, diventa uguale a:

$$K = \frac{0{,}36}{1 + \rho \dfrac{V}{M}} \tag{16}$$

La (16) è tanto più rigorosa quanto più la densità del fluido è piccola. Occorre pertanto verificarne la validità con i dati desunti dal sistema solare. Innanzitutto si ammette che la massa M sia rimasta pressoché inalterata dall'origine del sistema solare sino ad oggi. Si avrà

$$M = 2 \cdot 10^{30}\,\text{kg}$$

e, considerando la superficie lenticolare critica atta alla formazione di Mercurio, risulta

$$a = 58 \cdot 10^9\,\text{m}$$

ed inoltre

$$\frac{M}{V} = 0{,}00453\ \text{kg/m}^3$$

Assumendo, come dato orientativo, la densità ρ pari a quella dell'idrogeno a 0 °C di temperatura e a pressione 760 mm di mercurio, si ha

$$\rho = 0{,}089\ \text{kg/m}^3,$$

quindi per un irdogeno assai più rarefatto possiamo ritenere

$$\rho = 0{,}001\ \text{kg/m}^3.$$

Sostituendo tale valore nella (16) si ricava

$$K = \frac{0{,}36}{1 + 0{,}22} = 0{,}29 < 1;$$

pertanto si conclude che la (13) è ben lungi dall'essere soddisfatta (anche per un fluido con densità assai esigua e quindi superfici di equilibrio assai prossime a quelle di Roche) e quindi non si può avere espulsione equatoriale di materia. Ciò che si è verificato per Mercurio vale *a fortiori* per tutti gli altri pianeti. Infatti, dovendo essere M costante e V proporzionale al cubo del raggio medio dell'orbita planetaria, la (13) è sempre del tutto non soddisfatta per i restanti pianeti.

D'altra parte se l'instabilità equatoriale non si verifica per questo modello, assai prossimo a quello di Roche, ciò è ragionevolmente assai più improbabile

per un modello che consideri un mezzo più denso, circondante la massa M, che con la sua autogravitazione contrasti maggiormente le forze disgreganti centrifughe.

Si conclude pertanto che il momento angolare del protosistema all'origine del sistema angolare è decisamente insufficiente ad innescare un processo di emissione laterale quale quello delineato da Laplace.

A considerazioni consimili giunse, per via diversa, J. Jeans che fin dal 1919 avanzò la sua teoria mareale accettata, non senza qualche riserva, sino agli anni quaranta [3].

Un altro scoglio insuperabile, per la struttura stessa della ipotesi di Laplace, è la oggi constatata distribuzione del momento angolare all'interno del sistema solare. Infatti mentre la massa del Sole è 750 volte maggiore di quella dei pianeti presi tutti insieme, il momento angolare, che dovrebbe trovarsi in prevalenza nel Sole se i pianeti si fossero formati per instabilità rotazionale dell'atmosfera che lo circonda, vi si trova invece solo per il 2 % mentre Giove ne conserva da solo il 95 %. Non si può dar ragione di questo fatto con la ipotesi di Laplace; manca infatti un fenomeno, un meccanismo interno, che consenta di produrre il trasferimento del momento angolare testè descritto.

4. Altre obiezioni salienti da un punto di vista più generale.

Un difetto evidente di questa ipotesi è quello che non vi sia alcun tentativo di spiegazione della composizione chimica dei pianeti (per lo meno una suddivisione dei due grandi sistemi di pianeti con radicali differenze di composizione chimica). Ciò è solo spiegabile col fatto che essa è oggettivamente una delle prime teorie, storicamente proposte, sull'origine del nostro sistema solare. Le teorie contemporanee sono strutturate in modo da tenere conto di questo importante dato empirico.

Un altro difetto è quello di non spiegare la non coincidenza dei piani delle diverse orbite planetarie. Si constata infatti che le orbite dei vari pianeti non sono esattamente complanari. La tabella sottostante fornisce i dati quantitativi circa l'inclinazione delle varie orbite sull'ellittica.

Mercurio	7°	0′
Venere	3°	24′
Terra	0	0
Marte	1°	51′
Giove	1°	19′
Saturno	2°	30′
Urano	9°	46′
Nettuno	1°	47′
Plutone	17°	19′

Ora si tengano presente i seguenti fatti: gli anelli da cui sarebbero originati i protopianeti, secondo Laplace, possiedono, come piano di simmetria, quello che contiene tutti i punti critici delle figure lenticolari di Roche prime viste, coincidente con il piano di simmetria equatoriale dell'intero protosistema. Inoltre, mentre sono ben noti fenomeni secolari lentissimi, altrimenti detti adiabatici, quali ad esempio la resistenza di un mezzo o l'effetto delle perturbazioni mareali, secondo cui l'evoluzione delle orbite dei protopianeti è forzata a tendere verso una complanarità di tutte le orbite ed a una circolarizzazione di ciascuna singola, presa in sé stessa, non si conoscono fenomeni che giustifichino una evoluzione da una iniziale complanarità ad una situazione finale discostata, seppur in modesta entità, quale quella osservata.

5. Concetti informatori, derivati dall'ipotesi laplaciana, accolti ed elaborati da una teoria contemporanea sull'origine del sistema solare.

James Jeans nel suo trattato *Astronomy and Cosmogony* [3], conducendo la critica alla ipotesi di Laplace cui si è accennato precedentemente, al contempo ha enunciato la sua teoria dualistica dell'incontro anche detta teoria mareale. Essa è stata generalmente accettata sino agli anni quaranta; da allora si sono ripresentate le teorie monogenetiche con notevoli varianti strutturali l'una rispetto all'altra.

Una razionale classificazione delle teorie, inerenti all'origine del sistema solare, può oggi essere la seguente:

1° tipo) teorie in cui la formazione dei pianeti non è collegata con quella del Sole e la formazione stessa avviene, dopo che il Sole è diventato una stella normale, dalla materia derivata sia dal Sole sia da una stella che passa vicino,

2° tipo) teorie in cui la formazione dei pianeti non è collegata con quella del Sole e la formazione avviene, dopo che il Sole è diventato una normale stella, da materia derivata da spazio interstellare,

3° tipo) teorie che riguardano la formazione dei pianeti come una diretta conseguenza della formazione del Sole. I due processi di formazione possono avvenire contemporaneamente oppure successivamente.

Come risulta dalla precedente classificazione il 2° tipo di teorie s'ispira, in certo senso, all'ipotesi di Laplace. Queste teorie, che vengono dette anche di accrezione, non considerano, nel loro interno, la formazione del Sole; è semplicemente assunto che quest'ultimo si sia formato precedentemente in un modo analogo a quello delle altre stelle. I pianeti si sarebbero formati da una atmosfera, di gas e polveri cosmiche, che circonda il Sole. Rispetto all'ipotesi di Laplace vi è quindi il seguente progresso: mentre l'atmosfera fluida era ipotizzata circondante il Sole come assunzione base, in queste teorie è studiato dettagliatamente

un processo mediante il quale il Sole è in grado di catturare materiale dallo spazio interstellare [4]. Dette teorie vengono pertanto chiamate di accrezione e rendono ragione del fatto che il materiale, catturato dal Sole, è rifornito del necessario momento angolare per poter poi costituire i pianeti. Per quest'ultimo processo di trasmissione del momento angolare, e per altri motivi, le varie teorie di accrezione differiscono l'una dall'altra.

Una delle teorie che senz'altro trovano oggi maggior credito, appartenenti al 2° tipo e quindi discendenti nel senso in precedenza indicato dalla ipotesi di Laplace, è quella di H. Alfvén. Uno dei suoi maggiori contributi, alla soluzione del problema della cosmogonia planetaria, è stato quello di mostrare che gli effetti elettromagnetici nei plasmi erano importanti per due motivi.

a) per trasferire il momento angolare alla materia planetaria,

b) per comprendere il meccanismo di segregazione delle particelle granulari di polvere dal gas.

La teoria di H. Alfvén è ricca ed esaustiva del problema cosmogonico planetario; si cercherà qui solo di delinearne un breve schizzo. La cattura del gas interstellare, da parte del Sole, è stata accompagnata da ionizzazione del gas stesso: questo è il primo risultato dimostrato dal Alfvén. Diventa pertanto necessario considerare, oltre alla gravitazione, anche il campo magnetico emanante dal Sole, poiché questa atmosfera si comporta come un plasma sottile. Ciascuna singola particella ionizzata avente massa m e carica q si muove allora sotto l'azione gravitazionale e magnetica del Sole. Il campo magnetico del Sole è considerato assimilato a quello di un dipolo magnetico, posto al centro del Sole stesso (fig. 5).

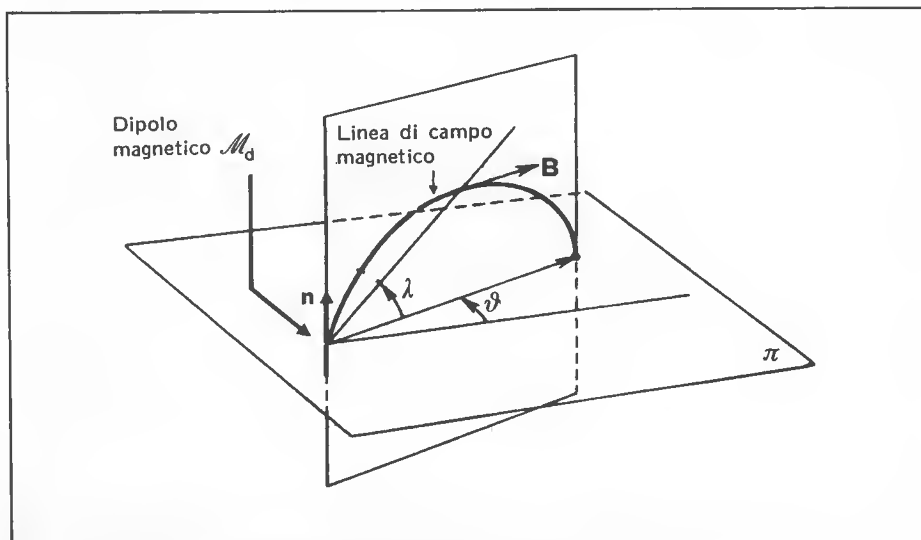


Figura 5. Campo magnetico dipolare emanante dal Sole.

Il momento del dipolo $\mathscr{M}_d$ è tale per cui il campo magnetico, a distanza r sul piano π (fig. 6) e perpendicolare ad esso, ha un induzione $\bar{B}$ fornita dalla formula seguente:

$$\bar{B} = \frac{\mathscr{M}d}{r^3}\bar{n}$$

in cui $\bar{n}$ è un vettore unitario perpendicolare al piano π.

Il moto della particella si svolge quindi nel piano π. Supponendo che questo ultimo sia il piano del foglio (figura 6) e adottando le coordinate polari r e ϑ, l'equazione vettoriale di moto per la particella diventa:

$$m\bar{A} = -G\frac{Mm\bar{r}}{r^2} + q\bar{v} \wedge \bar{B} \qquad (17)$$

in cui $\bar{r}$ è il versore unitario (fig. 6), M la massa del sole, G la costante di gravitazione universale. Il vettore velocità $\bar{v}$ ed accelerazione $\bar{A}$ sono da esplicitarsi. Ciò si effettua facilmente ricordando

$$\bar{v} \begin{cases} \text{componente radiale } v_r = \dot{r} \\ \text{componente tangenziale } v_\vartheta = r\dot{\vartheta} \end{cases}$$

$$\bar{A} \begin{cases} \text{componente radiale } A_r = \ddot{r} - r\dot{\vartheta}^2 \\ \text{componente tangenziale } A_\vartheta = r\ddot{\vartheta} + 2\dot{r}\dot{\vartheta} = \frac{1}{r}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(r^2\dot{\vartheta}) \end{cases}$$

Inoltre, considerando la forza di Lorentz $\bar{F} = q\bar{v} \wedge \bar{B}$, essa ha quindi componenti

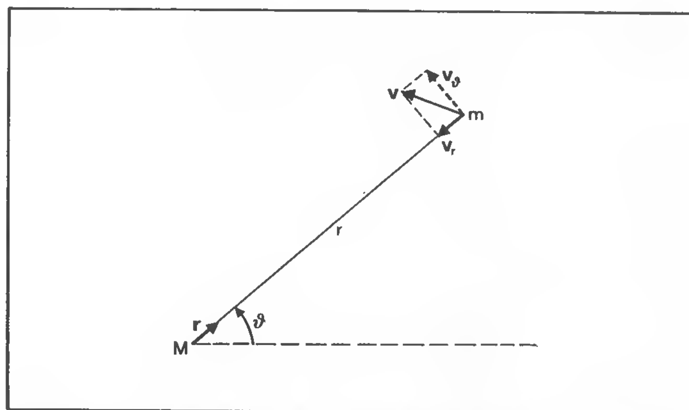


Figura 6. Situazione geometrico-dinamica atta a descrivere il moto di una particella elettricamente carica (nel piano π di fig. 5).

$$\bar{F}\begin{cases} F_r \text{ componente radiale} = \mathscr{M}_d \dot{\vartheta} \dfrac{q}{r^2} \\ \\ F_\vartheta \text{ componente tangenziale} = -q\mathscr{M}_d \dfrac{\dot{r}}{r^3}. \end{cases}$$

Allora la (17) si sdoppia nelle due seguenti

$$m\ddot{r} = -G\frac{Mm}{r^2} + \mathscr{M}_d q \frac{\dot{\vartheta}}{r^2} + mr\dot{\vartheta}^2 \tag{18}$$

$$\frac{m}{r}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(r^2\dot{\vartheta}) = -q\mathscr{M}_d\frac{\dot{r}}{r^3}. \tag{19}$$

La (19) si integra subito ottenendo

$$mr^2\dot{\vartheta} = -\int_\infty^r \frac{q\mathscr{M}_d}{r^2}\,\mathrm{d}r = q\frac{\mathscr{M}_d}{r} \tag{20}$$

non essendovi, a grande distanza dal Sole ($r = \infty$), praticamente momento della quantità di moto della particella. Sostituendo la (20) nella (18) si ha, poiché $\dot{\vartheta} = \mathscr{M}_d q/mr^3$,

$$m\ddot{r} = -G\frac{Mm}{r^2} + 2q^2\frac{\mathscr{M}_d^2}{mr^5}. \tag{21}$$

Poiché r è funzione solo di t, si può scrivere.

$$\ddot{r} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}r}\dot{r} = \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\frac{\mathrm{d}\dot{r}}{\mathrm{d}r} = \dot{r}\frac{\mathrm{d}\dot{r}}{\mathrm{d}r};$$

pertanto la (21) diventa

$$\dot{r}\frac{\mathrm{d}\dot{r}}{\mathrm{d}r} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}r}\left(\frac{1}{2}\dot{r}^2\right) = \frac{-GM}{r^2} + 2q^2\frac{\mathscr{M}_d^2}{m^2r^5}$$

che si integra immeditatamente ottenendo

$$\dot{r}^2 = \frac{2GM}{r} - q^2\frac{\mathscr{M}_d^2}{m^2r^4} \tag{22}$$

con la condizione che sia $\dot{r} = 0$ per r assai grande ($r \to \infty$). Dalla (22) si ricava che esiste un valore finito di r per cui $\dot{r} = 0$; esso risulta dalla equazione

$$\frac{2GM}{r} - q^2 \frac{\mathcal{M}_d^2}{m^2 r^4} = 0,$$

ossia

$$r_c = \left(\frac{q^2 \mathcal{M}_d^2}{2GMm^2} \right)^{1/3}. \tag{23}$$

Pertanto la particella è fermata nella sua caduta verso il Sole a distanza fornita dalla (23). Detta distanza dipende solo dal rapporto q/m, cioè dal rapporto massa-carica della particella. Vi sono due tipi di particelle che ci si può aspettare siano raccolte per accrezione dal Sole, essendo state ionizzate a grande distanza dal Sole stesso: un tipico gas atomico (generalmente idrogeno) e grani di polvere. Inserendo il valore q/m per l'idrogeno nella (23), insieme ad un valore ragionevolmente stimato per il campo magnetico solare, si ottiene un valore dell'ordine di 10^{13} m. Questa distanza è maggiore di quella media dei grandi pianeti; se si pensa però che anche gas non ionizzato può trasformarsi in gas ionizzato a distanza un poco inferiore, allora l'ordine di grandezza precedente si modifica. Ossia l'energia gravitazionale delle particelle si tramuta in energia cinetica di entità tale per cui le inevitabili collisioni producono la ionizzazione. Si stabilisce cioè il seguente bilancio energetico:

$$G \frac{Mm}{r} = \text{energia cinetica} = q\chi = \text{energia di ionizzazione}$$

in cui χ si misura in volt-elettroni. Sostituendo i valori numerici relativi, si ottiene per l'idrogeno:

$$r_0 \cong 1{,}4 \cdot 10^{12}\ \text{m},$$

ordine di grandezza della distanza di Giove dal Sole. Da quanto precede si comprende come si stabilisca un meccanismo di arresto nella caduta, o di localizzazione degli ioni di gas leggeri (prevalentemente idrogeno), in modo da costituire una nuvola all'altezza dei grandi pianeti.

Ritorniamo ai grani di polvere e alla formula (23); per quest'ultimi il rapporto carica-massa sarà molto più piccolo. Grossolanamente solo strati superficiali di questi grani diverranno ionizzati e così ci si aspetterà che il rapporto carica-massa sia proporzionale al rapporto dell'area superficiale al volume, cioè inversamente proporzionale al raggio. Ora il raggio dei grani è circa 500 volte maggiore di quello del protone e poiché nella (14) compare il termine $(q/m)^{2/3}$, la distanza per i grani si ridurrà del rapporto $(500)^{2/3} \cong 64$. Ciò significa che i grani raggiungeranno la distanza di arresto nella regione approssimativamente corrispondente a quella

ora occupata dai pianeti terrestri. Quindi i pianeti si sono prodotti da due nuvole: una principalmente composta di grani non volatili (pianeti terrestri), un'altra a maggior distanza composta principalmente da gas leggeri.

Quando queste due nubi sono state bloccate, viene loro trasferito il momento angolare dal corpo centrale dando luogo ad una concentrazione del gas verso il piano equatoriale. Questo processo, che Alfvén chiama di parziale corotazione, consente di comprendere la distribuzione delle masse all'interno delle due precedenti nuvole. Detto processo, ossia il trascinamento delle particelle di gas ionizzato operato, per così dire, dalle linee di forza del campo magnetico è un fatto fondamentale della fisica del plasma che ha trovato anche una spiegazione rigorosa nel teorema di Ferraro [5]. Secondo questo teorema tutti i punti di una linea di forza magnetica, immersa in un plasma, tenderanno a muoversi con la stessa velocità angolare. Per mostrare sperimentalmente la verità di quanto asserito, consideriamo l'esperimento di Lundquist [6]. Un contenitore d'acciaio, come quello indicato in fig. 7, è riempito di mercurio ed è percorso assialmente da un campo magnetico. Nell'interno del recipiente, vicino alla base, vi è una ruota a palette che può essere posta in rotazione dall'esterno. Per il fatto che vi è il campo magnetico, il momento angolare è trasferito fino alla superficie libera del mercurio. Infatti, dopo un certo tempo, il galleggiante si pone anch'esso in rotazione. Detta rotazione è indicata dal raggio di luce riflesso dallo specchietto (fig. 7). A regime si constaterà un'identica velocità angolare di rotazione in tutti i punti del fluido conduttore (mercurio).

Per completare brevemente, con gli stadi ulteriori, questa storia, si ricorderà che successivamente interviene una condensazione che dà luogo a grani che aumentano sempre più, come dimensioni. Infine i piccoli corpi si aggregano in corpi più grandi: pianeti e satelliti. Lo studio di questo processo fornisce le dimensioni i raggi orbitali medi dei corpi del sistema solare.

Pertanto proprietà essenziale della teoria è che il sistema planetario e i sistemi di satelliti sono trattati allo stesso modo. Questa istanza concettuale di una comune modalità di formazione per pianeti e satelliti è ereditata, come si è precedentemente visto, direttamente da P. S. Laplace. Inoltre le sole proprietà del corpo centrale sono essenzialmente la sua massa e la sua rotazione assiale, unitamente al suo campo magnetico, di valore non critico purché maggiore di un certo valore minimo. Ancor qui si nota il permanere della concezione unitaria del corpo centrale come causa motrice, in senso lato, per l'evoluzione del sistema. Il fattore del campo magnetico è un elemento che si aggiunge, assieme alle proprietà dei plasmi, all'interno del quadro generale laplaciano, per completare il modello tenendo conto dei più recenti ritrovati della fisica contemporanea [7].

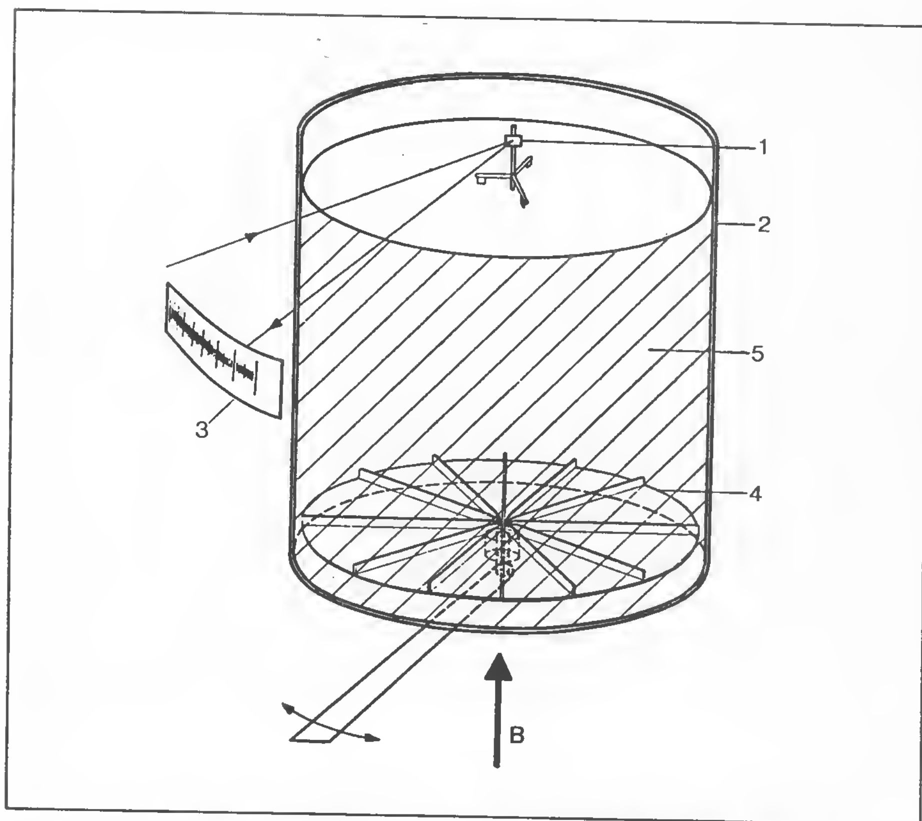


Figura 7. Disposizione sperimentale di Lundquist: 1, specchio galleggiante; 2, cilindro d'acciaio; 3, scala graduata; 4, disco rotante interno con palette; 5, mercurio (interno).

6. Conclusione.

P. S. Laplace presenta la sua ipotesi nebulare a coronamento del sistema newtoniano; ma ciò non deve far pensare che egli stimasse detta concezione come conclusiva e definitiva. Da grande scienziato ritenne le teorie fisiche sempre aperte, ossia come scale non come gabbie. Nella sua opera *Trattato di Meccanica Celeste* si sofferma infatti a commentare con una scrupolosa obbiettività l'accuratezza della legge di Newton: «la legge della gravitazione, inversamente proporzionale al quadrato delle distanze, rappresenta con un'estrema precisione tutte le ineguaglianze osservate nei movimenti celesti» (Tomo I, p. 136), al tempo stesso afferma però che la teoria risulta connessa con l'empiria. La sua precisione dipende dal piegarsi ad essa dei fenomeni, non da un rigore puramente astratto della teoria per sè stessa. E' chiarissima, per Laplace, la concezione connessa al legame «ipotesi - elaborazione matematica - verifica empirica» che è una circola-

zione che si allarga, in guisa di spirale, ad abbracciare una sempre maggior conoscenza della natura.

Laplace usa la parola *semplicità* con il significato evidente di *possibilità di comprendere la natura*. Impostazione semplice di un modello fisico, significa anche essere aderenti al principio di ragion sufficiente. Ciò può condurre a sviluppare un'analisi matematica complicata, ma ciò non è affatto contraddittorio. La semplicità non può contrastare con il mondo dei fenomeni, che aumentano sempre insieme alla conoscenza stessa, in progresso, della natura. La semplicità e la varietà, lungi dal contraddirsi, sembrano integrarsi mirabilmente, per Laplace come anche oggigiorno per tutti coloro che si occupano di scienze. A proposito poi della validità ogni legge o costruzione matematica, sempre dalla stessa opera, si consideri il seguente passo: «bisogna tener presente che le leggi più semplici devono essere sempre preferite, sino a quando le osservazioni non ci costringono ad abbandonarle. . .» (Tomo I, p. 135). Quindi è provato che per Laplace la legge di Newton è una legge semplice.

Ma, per concludere, appare allora chiaro l'intima continuità, sulla spirale prima considerata, tra l'ipotesi di Laplace e la contemporanea teoria di Alfvén. L'avvicinamento alla verità scientifica deve essere condotto, in ogni generazione, dell'uomo, tenendo conto dei dati empirici acquisiti e dei concetti che le siano noti.

Appendice.

Come abbiamo visto al paragrafo 3 il teorema di Poincaré assicura la stabilità delle masse fluide omogenee rotanti con velocità angolare ω, quando tutte le particelle s'attirano mutuamente secondo la legge universale di gravitazione, se è verificata la relazione seguente

$$\rho \geqslant \frac{\omega^2}{2\pi G} \tag{A.1}$$

in cui ρ è la densità in ogni punto e G la costante universale di gravitazione.

Studiamo ora come G. Krall ha modificato la (A.1) estendendola al caso che la massa fluida rotante abbia un nucleo centrale di massa M. Si dovrà aggiungere al potenziale V_1 (dovuto alla massa distribuita) e al potenziale centrifugo

$$V_2 = \frac{\omega^2}{2}(x^2 + y^2)$$

anche quello dovuto alla massa centrale (omogenea) M. Esso vale

$$V_0 = G\frac{M}{r},$$

in cui r è la distanza di un punto qualsiasi della nebulosa dal centro di M (coincidente con il suo centro). Per applicare la formula di Greeen si circoscriva il punto centrale (in cui è stata concentrata tutta la massa M) con una sfera avente volume $V' < V$ e di superficie σ', ovviamente interna alla superficie σ. Nella regione di spazio tra σ e σ' la funzione potenziale totale risulta

$$\mathcal{U} = V_0 + V_1 + V_2$$

che è regolare e continua con le sue derivate prime e seconde. Si avrà senz'altro:

$$\iiint_{V-V'} \Delta_2 \mathcal{U} \, \mathrm{d}V = - \iint_{\sigma+\sigma'} \frac{\mathrm{d}\mathcal{U}}{\mathrm{d}n} \, \mathrm{d}\sigma \tag{A.2}$$

Calcoliamo $\mathrm{d}\mathcal{U}/\mathrm{d}n$ su σ'. Si avrà

$$\frac{\mathrm{d}\mathcal{U}}{\mathrm{d}n} = \frac{\mathrm{d}V_0}{\mathrm{d}n} + \frac{\mathrm{d}V_1}{\mathrm{d}n} + \frac{\mathrm{d}V_2}{\mathrm{d}n}$$

dove $\mathrm{d}V_0/\mathrm{d}n = - GM/r^2$ (sulla superficie σ'); infine su σ' si ha $\mathrm{d}V_1/\mathrm{d}n = \mathrm{d}V_1/\mathrm{d}r$, $\mathrm{d}V_2/\mathrm{d}n = \mathrm{d}V_2/\mathrm{d}r$ (finite e continue anche, al limite, per $r \to 0$). Ora si faccia svanire, al centro uniformemente, la superficie interna σ'. Posto $\mathrm{d}\sigma' = r^2 \, \mathrm{d}\varphi \, \mathrm{d}\psi$ (elemento di superficie in coordinate polari) si ha, passando al limite per $r \to 0$

$$\lim_{r \to 0} \iint_{\sigma'} \frac{\mathrm{d}V_0}{\mathrm{d}r} \, \mathrm{d}\sigma' = - 4\pi \lim_{r \to 0} \frac{GM}{r^2} \, r^2 = - 4\pi GM.$$

Dovendo essere, per la stabilità di σ, $\mathrm{d}\mathcal{U}/\mathrm{d}n > 0$ e riscrivendo la (A.2) così

$$\iiint_{V-V'} \Delta_2 \mathcal{U} \, \mathrm{d}V = - \iint_{\sigma'} \frac{\mathrm{d}\mathcal{U}}{\mathrm{d}n} \, \mathrm{d}\sigma' - \iint_{\sigma} \frac{\mathrm{d}\mathcal{U}}{\mathrm{d}n} \, \mathrm{d}\sigma, \tag{A.3}$$

si ottiene sinteticamente

$$\iiint_{V-V'} \Delta_2 \mathcal{U} \, \mathrm{d}V + \iint_{\sigma'} \frac{\mathrm{d}\mathcal{U}}{\mathrm{d}n} \, \mathrm{d}\sigma' < 0. \tag{A.4}$$

Ora valutiamo il limite per $r \to 0$ nella (A.4), si otterrà, per quanto precede,

$$\iiint_{V} \Delta_2 \mathcal{U} \, \mathrm{d}V - 4\pi GM < 0, \tag{A.5}$$

in cui però $\Delta_2 \mathscr{U} = -4\pi G\rho + 2\omega^2$. Allora dalla (A.5) si ricava

$$-4\pi G\rho V - 4\pi GM + 2\omega^2 V < 0$$

e quindi

$$\rho > \frac{\omega^2}{2\pi G} - \frac{M}{V}.$$

Ciò vale a dire che si può pensare che la massa concentrata, in modo puntiforme, M si diffonda nel volume V, cosicché il teorema di Poincaré resta riferito alla densità

$$\rho + \frac{M}{V} \qquad \text{anziché } \rho.$$

BIBLIOGRAFIA.

[1] LAPLACE P. S., *Opere*, UTET, 1967.
[2] POINCARE' H., *Leçons sur les hypothèses cosmogoniques*, Gauthier - Villars, 1912.
[3] JEANS J., *Astronomy and cosmogony*, Dover, 1961.
[4] WILLIAMS I. P., *The origin of the Planets*, Hilger, 1975.
[5] FERRARO U. C. A., *Rotazione non uniforme del Sole e campo magnetico solare*, MNRAS 97, 458, 1937.
[6] LUNDQUIST S., *Ricerche sperimentali sulle onde magneto-idrodinamiche*, Phys. Rev. 76, 1805, 1949.
[7] ALFVÉN H., ARRHENIUS G., *Structure and evolutionary history of the Solar System*, Reidel, 1975.

MARIO GIROLAMO FRACASTORO

Il sistema solare: Teorie antiche e prospettive moderne

In ogni testo di Astronomia si trova il nome di Gauss a proposito del suo metodo di definire l'orbita di un pianeta in base a tre osservazioni complete, e così pure quello di Laplace, quando si fa la storia delle teorie così dette «cosmogoniche» sull'origine del sistema solare.

Tuttavia, durante questo stesso anno 1977, non ricorre soltanto il 2° centenario della nascita di Gauss e il 150° anno della morte di Laplace, ma anche – inutile ricordarlo – il 250° dalla morte di Newton e il primo centenario della morte di quel Leverrier che, insieme con Adams, scoprì il pianeta Nettuno.

Tutti questi furono protagonisti nell'avanzamento delle nostre conoscenze sul sistema solare, ed è per questo motivo che ho accettato di ritornare oggi su questa tòpica, oscillando tuttavia tra il descrivere le straordinarie acquisizioni di questi anni '70 e il fare una meditazione sulle teorie avanzate nei secoli scorsi.

Effettivamente gli anni '70 sembrano stranamente favorevoli a registrare decisivi passi avanti nella conoscenza del sistema solare (fig. 1). Basti dire che nel 1672 G. D. Cassini effettuava la prima misura «telescopica» della parallasse solare, con un errore che non superava l'8 %. Ancora in quegli anni '70 del XVII secolo, Roemer misurava la velocità della luce coi satelliti di Giove. Un secolo dopo, sempre negli anni '70, Titius e Bode enunciavano la famigerata legge empirica sulle distanze planetarie, mentre il Pingré, dopo un avventuroso viaggio, misurava la parallasse del Sole durante un transito di Venere, imbroccando – è il caso di dirlo – un valore fortunosamente esatto. Ancora un secolo dopo, e siamo negli anni '70 del secolo XIX, Galle (quello che osservò per primo Nettuno, in base alle indicazioni di Leverrier) e Gill usarono i pianetini per misurare ancora la parallasse del Sole, con risultati che fecero epoca a quel tempo.

Naturalmente queste ricorrenze sono puramente fortuite e prive di significato. Non altrettanto mi sentirei di affermare per altre concordanze numeriche che godettero un tempo di un prestigio forse eccessivo, ma ora sembrano troppo gettate tra i ferri vecchi. Ma su questo ritorneremo.

Certo è che le nuove imprese sono veramente straordinarie. Avete sentito or

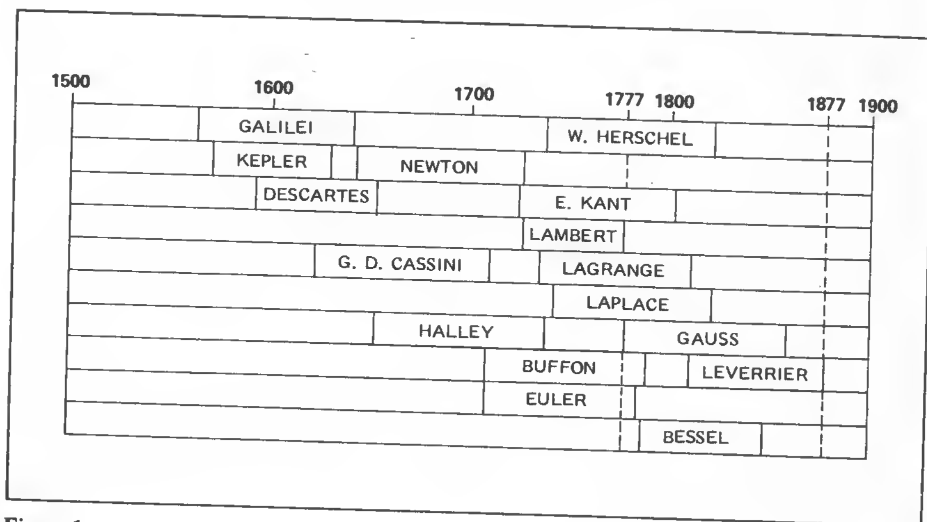


Figura 1

ora dal collega Colombo che Saturno non è più il solo pianeta ad essere circondato da un sistema di anelli; ma anche Urano, che fu il primo pianeta scoperto nell'epoca moderna (W. Herschel, 1781). Un forte impulso alla ricerca lo dobbiamo alle esplorazioni per mezzo di sonde spaziali ed alla radar-astronomia. Nel primo caso, ricordiamo telegraficamente il *Mariner 4*, che trasmise le prime fotografie di Marte a distanza ravvicinata (1965), le due sonde *Venera 5 e 6* che si posarono sulla superficie rovente di Venere (1969); il *Mariner 9* che si mise in orbita attorno a Marte, eseguendo straordinarie fotografie della sua superficie e del piccolo satellite Phobos (1971); il *Mars 3* che riuscì a resistere per 20 secondi sulla superficie solida di Venere (1971); il *Pioneer 11* che, passando in prossimità di Giove, ci dette informazioni sulla sua struttura interna, attraverso la conoscenza del suo campo gravitazionale (1974) e nello stesso anno il «fly-by» del *Mariner 10*, che ci fece conoscere la massa e l'aspetto di Mercurio ed anche i movimenti nell'atmosfera di Venere. Sono del 1975 le due sonde *Venera 9 e 10*, che ci trasmisero le prime fotografie del suolo di Venere, mentre tutti ricordiamo le imprese delle sonde *Viking 1 e 2* e le foto trasmesse della superficie di Marte (1976). Intanto, sono in viaggio i *Voyager 1 e 2* che nel 1979 arriveranno a Giove e ai suoi satelliti, nel 1980 a Saturno e ai suoi anelli, e sulla fine degli anni '80 a Urano e Nettuno.

Non meno importanti, seppure meno vistose, le imprese della radar-astronomia, cui dobbiamo la determinazione del periodo di rotazione di Mercurio, legato al suo periodo orbitale, e di Venere legato – a quanto sembra – alla rivoluzione terrestre. Lo studio dei segnali radar inviati verso Venere e verso Saturno ha anche permesso di riconoscere la struttura del suolo venusiano e quella degli anelli

di Saturno.

Ritornando agli illustri Soci, che la nostra Accademia intende commemorare, è naturale che io – astronomo – fermi la mia attenzione sull'attività che sia Gauss sia Laplace svolsero nel campo dell'Astronomia e in particolare del sistema solare. Né posso tacere di Isacco Newton, di cui come ho detto ricorre quest'anno il 250° anniversario della morte, anche lui fortemente legato al sistema solare, se non altro per quella legge di gravitazione che spiegava a posteriori le leggi che quasi un secolo prima Keplero aveva enunciato per spiegare il moto dei pianeti attorno al Sole, senza troppo curarsi delle polemiche che infuriavano tra i sostenitori del sistema eliocentrico e quelli del sistema geocentrico.

E' alla legge di gravitazione universale che si richiamava, sia pure maldestramente, il Buffon nel 1745, quando pensava ad una collisione tra il Sole ed una grossa cometa. Prima di lui, e prima di Newton, il Descartes aveva pensato ai vortici, come ad un meccanismo capace di addensare materia; ma per quasi tre secoli dei vortici non si doveva parlare più. Più tardi si sostituì la cometa del Buffon con una stella, cioè con un corpo celeste di massa sufficiente a provocare quell'enorme ondata di marea, che avrebbe dovuto dar origine, per espulsione, ai pianeti. Calcoli più accurati dimostrarono tuttavia che neppure una stella sarebbe stata capace di provocare la nascita del sistema solare.

Altrettanto sensibile alla legge di gravitazione universale sembra essere stato Emanuele Kant, quando cercò di spiegare l'origine del cosmo, dieci anni dopo il Buffon, e cioè nel 1755. Noterò incidentalmente che la parola cosmo e il suo derivato «cosmogonia» si identificarono da principio con l'assetto del sistema solare, che era l'unico in cui – a quei tempi – si verificasse un ordine manifesto.

Il punto della situazione, all'inizio di questo secolo, fu fatto dal grande Henry Poincaré nel suo libro *Leçons sur les Hypothèses cosmogoniques*, lezioni tenute alla Sorbona e pubblicate nel 1911. E' un libro che si legge ancora con profondo godimento, non solo scientifico, e rivela l'umanista che sapeva esporre in modo chiaro e comprensibile. Pochi anni dopo, un suo allievo, il Véronnet, pubblica un esame critico delle varie teorie, rilevando (mi spiace dirlo) che i calcoli condannano la teoria di Laplace, la quale – al vaglio di una rigorosa trattazione matematica (né Kant, né Laplace avevano mai scritto una sola formula) – costituirebbe una costruzione meno valida di quella avanzata da Kant.

Oltre a questi due, il Poincaré ricorda la teoria di Faye, secondo il quale il Sole e i pianeti si sarebbero formati all'interno di una proto-nube, indipendentemente l'uno dall'altro. Secondo il Ligondès, invece, il punto di partenza non è la nube gassosa di Laplace, ma un vero e proprio caos di particelle, i cui urti avrebbero modificato e messo «ordine» in questo caos. Essendo questi urti anelastici (ecco l'importanza di parlare di particelle e non di gas, come faceva il Laplace), molti corpi degenerano e si creano corpi più massicci, di cui il Sole sarebbe

soltanto il più fortunato. Ligondès distingue questi urti a seconda delle dimensioni dei corpi che ne sono protagonisti, e questa distinzione perdura in un'interpretazione moderna, qual'è quella di Alfvèn.

Secondo il See, invece, i pianeti non si sarebbero staccati dal Sole, né la Luna dalla Terra; ma vi si sarebbero associati con processi di cattura. Il Sole sarebbe stato un tempo avvolto da un'atmosfera, sulla cui densità il See non si pronuncia. Entrando in questa atmosfera un corpo celeste di provenienza estranea (orbita parabolica o iperbolica) avrebbe subito una resistenza, con una conseguente riduzione della distanza afelica, e così via ad ogni passaggio al perielio, fino ad arrivare alle orbite attuali; mentre – simultaneamente – l'atmosfera del Sole si sarebbe progressivamente ridotta, fino alla consistenza attuale, senza essere più in grado di modificare gli elementi orbitali dei pianeti. E' strano che il Poincaré commenta: «Questa teoria rende conto delle eccentricità, ma non spiega le inclinazioni, tutte molto piccole, delle orbite planetarie rispetto al piano dell'equatore solare». La critica non sembra completamente motivata, e non viene fatta propria dal Véronnet.

E' naturale che Sir George Darwin tiri in ballo le maree, come elemento trainante nel meccanismo di formazione del sistema planetario, per la spiegazione della rotazione assiale dei vari sistemi vicini. Attorno ad una condensazione più «fortunata» delle altre, si è formato il Sole, che ha cominciato ad esercitare un'azione preponderante su altre condensazioni, fino alla formazione del sistema solare. Lo stesso processo, in sostanza, dà origine ai sistemi di satelliti. Il Kant non si pone il problema del tempo richiesto da questa evoluzione dalla nube originaria.

Laplace invece parte da un Sole già formato e da una nube che lo avvolge, già calda. Sfortunatamènte egli assegna a questa nube la natura e lo stato chimico di un gas. Egli ammette anche a priori che questa nube ruòti in modo rigido (per spiegare la rotazione coerente dei pianeti, rispetto alla loro rivoluzione).

Non c'è dubbio che le ipotesi di partenza sono meno essenziali e più «ad hoc», per cui rispetto a quelle di Kant, da un punto di vista filosofico, si fa un passo indietro. Forse, fu anche un errore parlare di un gas, le cui proprietà sono assai diverse e meno conciliabili col processo di accrescimento che avrebbe dovuto dar origine ai pianeti ed ai satelliti, piuttosto che di particelle in genere, polveri nelle quali sono perfettamente compatibili urti anelastici, più adatti a favorire queste accrezioni.

Coloro che, durante il secolo XIX, si presero il compito di dare forma rigorosa allo schema enunciato da Laplace, dovettero modificare o rifiutare uno dopo l'altro i lineamenti di questa teoria, per renderla compatibile con le conoscenze che si venivano accumulando nel campo della chimica e della fisica. E, neanche a farlo apposta, si ritornò più o meno inconsapevolmente allo schema di Kant. Intanto si cominciò a credere che il Sole potesse avere un'età non superiore ai

20 ÷ 30 milioni di anni, traendo le fonti della sua energia da un processo di contrazione. Per conseguenza faceva molto comodo prenderlo «già fatto» dalla teoria di Laplace piuttosto che attendere un tempo lunghissimo perché si formasse, come voleva la teoria di Kant.

Vorrei a questo punto soffermarmi in un confronto fra la teoria enunciata da Kant e quella proposta da Laplace. Il filosofo tedesco scrive la sua *Storia naturale generale e teoria del Cielo, o Saggio sulla costituzione e l'origine meccanica dell'Universo, secondo le leggi di Newton* nel 1755, quando aveva appena 25 anni. La pubblica, anzi, anonima, naturalmente in lingua tedesca. Non si può certo affermare con certezza che Laplace conoscesse questa *Storia naturale* quando pubblicò nella più diffusa lingua francese nel 1796, cioè oltre quarant'anni dopo il Kant, la sua «Esposizione dei sistemi del mondo», nella quale soltanto una decina di pagine si riferiscono all'origine del sistema solare, pagine nelle quali – contrariamente a quanto comunemente si legge e si afferma – non figura alcun calcolo matematico ma piuttosto una descrizione di livello quasi divulgativo.

Se si pensa al peso immenso che ebbe la cultura francese, come conseguenza della Rivoluzione e della conquista dell'Europa da parte di Napoleone, non farà meraviglia che l'opera di Kant sia stata praticamente dimenticata e la paternità dell'ipotesi monogenetica sia stata attribuita piuttosto al Laplace che al Kant, tanto più che questi guadagnò fama immensa come filosofo, mentre il francese doveva acquistare credito grandissimo in Astronomia, soprattutto come continuatore e rifinitore del Newton e della sua legge di gravitazione universale, di cui il Laplace appunto fu uno strenuo difensore.

Che aveva detto, in sostanza, il Kant? Intanto egli cerca di dimostrare l'origine di tutto l'Universo, e non si limita al sistema solare. Da questo il nome «Cosmogonia» che appare oggi assolutamente inadeguato alle dimensioni del sistema solare rispetto alla Galassia ed al mondo metagalattico. In secondo luogo Kant cerca di introdurre il minimo numero di ipotesi a base della sua teoria. E di fatto egli presume (a) l'esistenza di materia allo stato, si direbbe oggi, disgregato, senza impegnarsi sulla sua natura chimica o sulla sua costituzione fisica; (b) la legge di gravitazione, valida ovunque e sempre. Locali addensamenti in questa protomateria generano locali condensazioni, frammentazioni, ed in ognuno di questi frammenti nasce un sistema, che può avere momento angolare diverso da zero, perché si compensa con quello di altri corpi che lo costituiscono.

Il Poincaré conclude: «Se non ci fosse che il sistema solare, io non esiterei a preferire la vecchia ipotesi di Laplace. Ci sono pochissime cose da fare per rimetterla a nuovo. Ma la varietà dei sistemi stellari ci obbliga ad allargare i nostri quadri, di guisa che l'ipotesi di Laplace, anche se non debba essere completamente abbandonata, dovrà essere modificata affinché diventi un aspetto, particolarmente adattato al sistema solare, di un'ipotesi generale che sia applicabile a tutto

l'Universo e spieghi i destini delle stelle (cioè la loro evoluzione) e come esse si formino nel Cosmo».

Dai tempi in cui il Poincaré scriveva queste parole, le quali portano ancora la traccia dell'intento di voler spiegare la genesi di tutto il Cosmo attraverso la storia del sistema solare, l'Astrofisica, la Magnetodinamica hanno fatto grandi passi. Rimossa la difficoltà che la teoria monogenetica incontrava nello spiegare la sparizione del momento angolare, cioè la lenta rotazione del Sole, la teoria dell'origine catastrofica del sistema solare, che ha avuto l'ultimo epigono nel grande H. N. Russell, ha perduto praticamente fino all'ultimo simpatizzante, a beneficio di quella monogenetica. Dopo il ritorno sulla scena dei vortici, ad opera di von Weizsäcker, compito degli studiosi è stato quello di elaborare un processo fisicamente accettabile per spiegare l'accrezione di nuove particelle da parte di un proto-pianeta e la condensazione di quest'ultimo dalla materia diffusa che formava l'alone del proto-sole. Si lavora ormai nei dettagli dell'edificio, che – nelle sue grandi linee – si ritiene ormai definitivamente strutturato. Molto si spera dall'esplorazione diretta degli spazi interplanetari.

Il problema, tuttavia, viene considerato come un problema tecnico, la cui soluzione va affidata alla Fisica, alla Meccanica, alla Magnetofluidodinamica, alla Chimica, e così via. Non faccia meraviglia che i suoi aspetti filosofici siano completamente ignorati o peggio, travisati. Da questo punto di vista, da Kant in poi si è fatta molta strada all'indietro, a mio parere.

Ma ritorniamo agli aspetti tecnici del problema. Tutte le teorie monogenetiche si compiacciono di prevedere la complanarità delle orbite planetarie; ma fingono di non vedere che le orbite dei pianeti sono *quasi* ma non rigorosamente complanari. Ebbene, a quanto mi consti, ci sono molte vie nella Meccanica per rendere complanari delle orbite che inizialmente non lo erano, ma nessuna che le porti fuori dal piano comune sul quale si erano formate, tranne l'introduzione di una forza esterna. D'altra parte nessuno esclude che, nel caso di qualche satellite, sia avvenuto un processo di cattura, cioè un evento non conservativo. Pertanto, il sistema solare non è oggi quello che era ieri. Non si sa nemmeno se l'ordine che vi si vede oggi sia soltanto un anticipo della configurazione perfettamente ordinata che potrebbe aversi domani, oppure un ricordo di una configurazione ordinata, che il sistema aveva al momento della sua formazione.

Un fatto che fa meditare è il seguente: gli elementi orbitali dei pianeti vengono di solito riferiti all'eclittica, cioè al piano orbitale della Terra. Sembra evidente che questo non è un modo fisicamente molto significativo per rappresentare le cose. Sembra senz'altro più logico riferirsi al piano equatoriale del Sole. Ebbene, così facendo, vengono alla luce alcuni aspetti interessanti: la maggior parte dei pianeti evolve su orbite i cui poli sono praticamente coincidenti, ma nettamente distaccati dal polo di rotazione del Sole. Il polo dell'orbita di Mercurio è vicino a

quello del Sole, un po' meno quello di Venere; più discosto di tutti è quello di Plutone. Per tutti gli altri c'è un'inclinazione comune di circa 6°. Sono le orbite planetarie o è stato il Sole a disassarsi? Quest'ultima ipotesi sembrerebbe più verosimile; ma allora bisogna pensare a qualcosa che abbia perturbato *dall'esterno* la situazione dinamica del sistema solare. Una stella potrebbe esser responsabile di questo durante un avvicinamento non troppo improbabile e non troppo lontano nel tempo. Basti pensare che, con una velocità relativa di 20 km/s (che è molto comune fra le stelle vicine al Sole) la distanza può variare di qualche parsec nel corso di 10^5 anni (un millesimo del tempo impiegato dal Sole per compiere un'intera rivoluzione rispetto al centro galattico). Né occorrerebbe un avvicinamento così eccezionale come quello richiesto dalle teorie eterogenetiche. Plutone, che è il più lontano, ne avrebbe risentito in misura maggiore; meno di tutti Mercurio, che è il più vicino e legato al Sole, in tutti i sensi (fig. 2).

Spero che qualche specialista raccolga questa, che è una specie di provocazione, ritrovando coraggiosamente quella fantasia, della quale non mancavano certo i nostri predecessori. Ad essi si può rimproverare di aver sempre cercato di portare fino alle estreme conseguenze la *loro* ipotesi, contrapponendola sempre in modo esclusivo alle altre. Eppure, ad una rilettura di oggi, sembra che ognuno

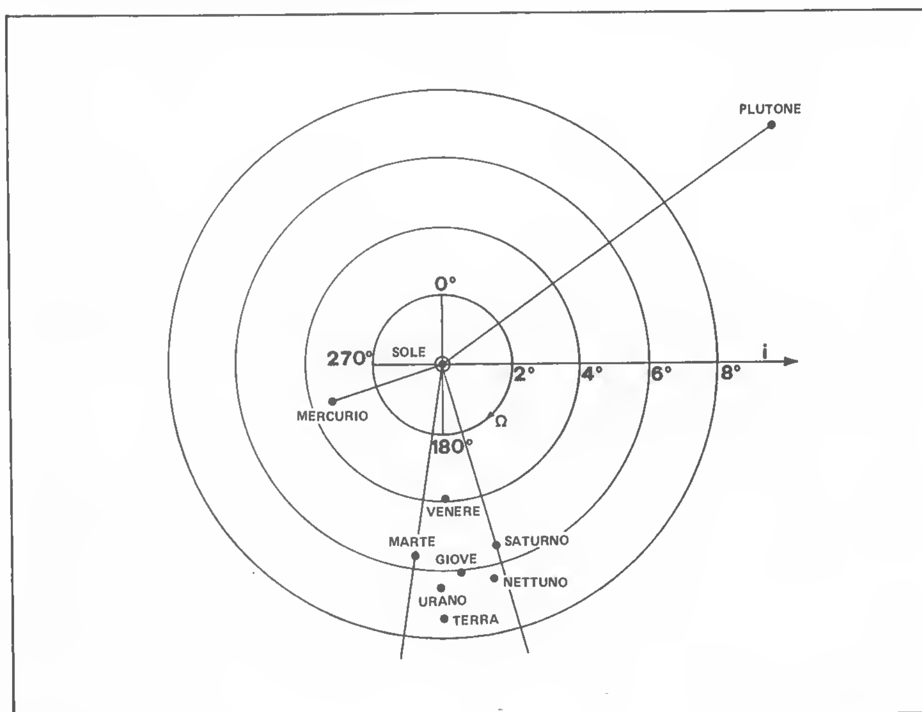


Figura 2

di essi avesse qualche parte di ragione. Perfino la teoria delle catture di See, che oggi nessuno si sente più in grado non dico di sostenere, ma neppure di menzionare, potrebbe acquistare una certa verosimiglianza, qualora si accettasse l'idea, tutt'altro che peregrina, che non ci sia nell'Universo una divisione drastica, una «gap» come si direbbe oggi, nella distribuzione delle masse dei corpi celesti, ma piuttosto una continuità, da quelle di ordine stellare (da 10 a 0.1 $M_{\odot}$) a quelle di ordine planetario (da 10^{-3} a 10^{-7} $M_{\odot}$) o di ordine ancora inferiore per i satelliti e gli asteroidi, giù giù fino ai meteoriti. Questa continuità, almeno in senso qualitativo, è ormai pienamente dimostrata, dopo le accuratissime misure fatte da P. Van De Kamp e dalla sua scuola, misure che hanno dimostrato l'esistenza, in sistemi stellari a noi molto vicini, di corpi celesti i quali non raggiungono la massa critica per irradiare come stelle, ma si rendono osservabili per l'azione gravitazionale esercitata sulla componente primaria del sistema, cui appartengono. Il più piccolo di questi oggetti ha una massa che è soltanto 1.6 volte quella di Giove. Si tratta di accettare l'ipotesi che questi oggetti non si limitino a trovarsi in prossimità di una stella, ma esistano anche isolati. In tal caso farebbero da centri di condensazione per le nubi cosmiche, oppure potrebbero essere catturati, con un fattore di probabilità ben superiore a quello supposto, quando si confutava la teoria eterogenetica di un incontro catastrofico tra il Sole e una stella.

La mia – non richiesta – opinione è che questo problema, affascinante, potrebbe trovare migliori prospettive di soluzione se, invece di affidarsi in modo esclusivo ad una teoria, si facesse un «pool» di quello che l'Astronomia e l'Astrofisica hanno oggi acquisito. Dire, come dice Alfvèn nel suo recente libro *Origin and Evolutionary History of the Solar System*, che siccome le notizie che ci dà la Astrofisica in merito all'origine delle stelle sono ancora vaghe e incerte, è meglio affrontare il problema considerando il Sole com'è oggi e non com'era ieri, mi sembra per lo meno azzardato. A mio parere, non soltanto si dovrebbero accettare le teorie astrofisiche sull'origine e l'evoluzione delle stelle (teorie che sono ormai definitivamente acquisite con sufficienti dettagli), ma addirittura si dovrebbero mettere in campo le nostre più recenti conoscenze sull'origine delle piccole associazioni di stelle da nubi cosmiche primordiali.

Ad un congresso tenutosi due anni fa in Messico, si parlava appunto di queste piccole associazioni e qualcuno disse, con molto spirito ma anche con molto realismo, che ci sarebbe da domandarsi perché esistono stelle singole, di cui il nostro Sole sembra diventare un esemplare sempre meno probabile, a scorno di coloro che hanno inventato il così detto «principio di mediocrità», secondo il quale noi dovremmo considerarci – a priori – perfettamente mediocri, cioè membri di una Galassia qualunque, di una stella qualunque, di un pianeta qualunque, e così via.

Avevamo parlato, all'inizio, di numerologia. Non c'è dubbio che – nel caso del

sistema solare – si è forse dato troppa importanza alla legge empirica delle distanze planetarie, che porta il nome di Titius e Bode. Tuttavia sembra esagerato scagliarsi contro di essa, come fa l'Alfvèn, il quale parla addirittura di «lavaggio del cervello»! In troppi casi si riscontrano nel sistema solare coincidenze numeriche, perché esse possano essere tutte attribuite a circostanze fortuite. A parte i rapporti semplici che si hanno tra i periodi di Saturno e di Giove (circa 5/2), fra quello di Urano e quello di Saturno (circa 3/1), tra quello di Nettuno e quello di Urano (circa 2/1) e sorprendentemente tra quello di Plutone e quello di Nettuno (quasi esattamente 3/2), è quasi perfetto il rapporto numerico tra i periodi di alcuni satelliti di Giove, e così anche di Saturno.

Ciò sembra indicare che, a lungo termine, ci sia una tendenza ad aggiustarsi sulle orbite meccanicamente più «sicure», nonostante l'eventualità di eventi non conservativi, di cui rimangono le tracce ai due estremi del sistema: il frenamento della rotazione dei pianeti interni e quel cataclisma cosmico che portò alla strappo di Plutone, alla rivoluzione retrograda di Tritone, all'abbattimento dell'asse di rotazione di Urano e dei suoi satelliti, all'altro estremo del sistema solare.

Possiamo confidare in ulteriori assestamenti? Qualcuno potrebbe sperare di sì, pensando che – in fondo – dalla formazione del sistema solare Giove ha fatto meno orbite attorno al Sole di quante non ne abbia fatte un elettrone attorno al nucleo di Idrogeno, dopo appena un secondo dalla formazione dell'atomo.

CATALDO AGOSTINELLI

Alcuni aspetti della vita e dell'opera di Carl Friedrich Gauss e di altri soci illustri dell'Accademia

Prima di chiudere questo breve ma solenne convegno, svoltosi per celebrare degnamente ed esaltare l'opera scientifica di due titani della scienza: Carl Friedrich Gauss e Pierre Simon de Laplace, che furono soci di questa Accademia, mi sia permesso di ricordare come quest'anno 1976 - 77 è particolarmente denso di ricorrenze centenarie della nascita o della morte di nostri eminenti soci, e pertanto chiedo venia se di alcuni di essi e delle loro opere ne faccio rapidamente cenno.

Non dirò di Amedeo Avogadro di Quaregna, nato a Torino il 9 agosto 1776, un anno prima di Gauss, e morto il 9 luglio 1856, che insegnò fisica sublime all'Università di Torino. Di questo scienziato illustre, che con la legge che porta il suo nome e le sue ricerche creò le basi per lo sviluppo della Chimica moderna, parlerà in altra occasione il collega Milone.

Al nome di Gauss è particolarmente legato quello dell'astronomo Giuseppe Piazzi, che con la scoperta del primo asteroide Cerere, avvenuta nella notte di Capodanno 1801, dette a Gauss l'occasione e il motivo di quelle celebri ricerche di Meccanica celeste immortalate nella sua *Theoria Motus Corporum Caelestium*.

Giuseppe Piazzi nacque in Ponte di Valtellina il 16 luglio 1746 e morì a Napoli il 22 luglio 1826; l'anno scorso ricorreva dunque il 150° anniversario della morte. Educato e istruito prima nel borgo nativo, e poi a Como, entrò infine nell'ordine dei Teatini a Milano, dove nel 1765 professò fede religiosa. Trasferitosi a Torino, pare che sotto l'influenza del fisico G. B. Beccaria si sia allora orientato verso gli studi scientifici, ai quali poi maggiormente si dedicò sotto la direzione dei padri Jacquier e Le Seur in Roma, dove era stato trasferito nel 1767.

Dopo un soggiorno quasi triennale a Genova fu chiamato a Malta a insegnarvi matematica all'Università per un biennio fino allo scioglimento di essa. Lo si ritrova in seguito nelle case e nei collegi del suo ordine, in funzione di predicatore a Ravenna, a Cremona e di nuovo a Roma. Nel 1780, aiutato da padre Jacquier, che aveva conosciute le notevoli qualità del teatino, ebbe la cattedra di calcolo sublime nell'Università di Palermo, dove insegnò per ben 46 anni.

Dopo l'erezione di due osservatori astronomici, l'uno a Napoli e l'altro a

Palermo, egli ebbe l'incarico dell'insegnamento dell'Astronomia e della direzione dei due osservatori. Iniziate le osservazioni, dopo la determinazione degli elementi astronomici locali e la costruzione di nuove tavole delle rifrazioni, il Piazzi fu indotto a dedicarsi al fondamentale problema di determinare, con accuratezza e precisione, luoghi di stelle e nel 1803 riuscì a pubblicare la prima edizione del famoso catalogo *Praecipuarum Stellarum Inerrantium Positiones mediae ineunte Saeculo* XIX.

Completato ed emendato con tutte le osservazioni compiute dal 1792 al 1813 quel catalogo fu ripubblicato nel 1814 ed entrambi furono premiati dall'Istituto di Francia. Ma la fama del Piazzi, che con lodevole consuetudine calcolava quotidianamente le osservazioni della notte precedente, è dovuta principalmente alla scoperta fatta la sera del 1° gennaio 1801, del piccolo pianeta, poi denominato Cerere, primo di una numerosa serie di piccoli pianeti quasi tutti circolanti nello spazio compreso fra le orbite di Marte e di Giove. Questa scoperta, come ho già detto, indusse Gauss a stabilire quel metodo che gli permise il calcolo dell'orbita di Cerere in base alle poche osservazioni fatte dallo stesso Piazzi e che ne rese possibile il ritrovamento. Nel 1817 il Piazzi fu chiamato a Napoli per dirigervi la costruzione dell'Osservatorio Astronomico di Capodimonte ed ebbe quindi la nomina di direttore generale degli osservatori esistenti nel Regno delle due Sicilie.

Nel 1805 la nostra Accademia lo eleggeva Socio nazionale nella Classe di Scienze Fisiche. La città di Torino ha dedicato al suo nome una via nella regione della Crocetta.

Dopo il Piazzi, venendo a un'epoca più vicina alla nostra, occorre ricordare ancora un altro eminente astronomo: Urbain Jean Joseph Le Verrier, che fu socio della nostra Accademia, eletto il 13 dicembre 1846. Egli nacque a Saint-Lû sulla Manica, l'11 marzo 1811, e morì a Parigi il 23 settembre 1877. Ricorre dunque quest'anno il centenario della morte.

Il Le Verrier, uscito dalla Scuola Politecnica, si occupò dapprima di Chimica, facendosi apprezzare da Gay Lussac, ma ben presto si dedicò completamente all'astronomia. Nel 1846 fu accolto nell'Académie des Sciences come successore di Cassini, e in quello stesso anno, subito dopo la scoperta del pianeta Nettuno, che gli dette di colpo grande notorietà, fu chiamato alla cattedra di astronomia, creata per lui presso la facoltà di Scienze di Parigi, e alla morte di J. F. D. Arago fu nominato direttore dell'osservatorio.

Il confronto delle osservazioni dirette di Urano con le posizioni date dalle tavole di A. Bouvard (1825) aveva rivelato una differenza in longitudine, tendente ad aumentare col tempo, e già Bessel (1840) aveva espresso l'ipotesi che un tale disaccordo fosse dovuto all'esistenza di un pianeta sconosciuto. Il Le Verrier, incoraggiato dall'Arago, prese ad occuparsi del problema e dopo un anno, in

successive Memorie, ne dava la soluzione. Ammettendo l'esistenza di un nuovo pianeta agente su Urano, mostra a priori come esso debba essere situato al di là di Urano e avere una massa considerevole; quindi, per mezzo della teoria delle perturbazioni, determina, per il supposto pianeta, la massa, gli elementi dell'orbita, la sua posizione più probabile e mostra come, con le ammesse ipotesi, tutte le osservazioni di Urano risultano bene rappresentate, dentro i limiti degli errori di osservazione. L'astronomo Galle di Berlino, invitato dallo stesso Le Verrier, intraprese la ricerca e il 23 settembre 1846 trovò, a soli 52' dalla posizione indicata, un astro nuovo il cui percorso fu rilevato essere quello previsto da Le Verrier; era il pianeta che poi fu chiamato Nettuno. Questo successo della previsione teorica fatta da Le Verrier suscitò intorno a lui l'ammirazione di tutto il mondo scientifico.

Ma questo non è il solo titolo di gloria di Le Verrier. Dal 1844 al 1847 egli pubblicò una serie di lavori sulle comete periodiche. Concepì poi l'ardito disegno di rifare, sin dalla base, la teoria del sistema solare. Questo lavoro grandioso, contenuto nei volumi degli Annali dell'Osservatorio di Parigi, comprende lo sviluppo della funzione perturbatrice, la teoria del moto apparente del Sole e quelle del movimento di ciascun pianeta da Mercurio a Nettuno, la cui ultima pagina fu scritta tre settimane prima di morire.

Quest'anno ricorre ancora il 150° anniversario della morte del grande fisico comasco, Alessandro Volta, che fu eletto socio di questa Accademia il 23 febbraio 1794. Nato a Como il 27 luglio 1776 e morto a Milano il 5 marzo 1827, Alessandro Volta meriterebbe di essere rievocato a lungo in questa circostanza. Ma i limiti di tempo purtroppo non lo consentono e io mi rimetto a quanto fu scritto nella celebrazione del primo centenario della morte, svoltasi dall'11 al 20 settembre 1927 a Como, Pavia e Roma con un congresso internazionale a cui parteciparono coi loro contributi scienziati come E. Rutherford, L. De Broglie, H. A. Lorentz, M. Planck, P. Zeeman, A. Sommerfeld, N. Bohr, W. Heisenberg. W. Pauli. T. Levicivita, E. Fermi e tanti altri fisici illustri (1).

Anche in questa ricorrenza la Società Italiana di Fisica ha indetto, negli ultimi giorni di settembre, il suo 64° Congresso nazionale, che si è svolto prima nelle sale di Villa Olmo a Como e poi a Pavia dove Alessandro Volta ebbe la sua cattedra. A questo congresso hanno partecipato ben quattro premi Nobel, fra cui il nostro eminente fisico Emilio Segré e il Prof. Hannes Olof Alfvén, l'illustre cultore di elettrodinamica cosmica e fondatore della moderna magnetoidrodinamica.

---

(1) Cfr. *Atti del Congresso Internazionale dei Fisici*, 17 - 20 sett. 1927, vol. I e II, Zanichelli, Bologna, 1928.

E' doveroso ricordare anche che lo scorso anno ricorreva il centenario della nascita di Alfredo Pochettino, che diversi di noi lo ebbero collega. Nato a Roma da famiglia piemontese il 7 novembre 1876 e morto a Torino il 23 agosto 1953, egli fu professore di Fisica all'Università di Torino, di cui fu anche Rettore. Apparteneva alla nostra Accademia sin dal 1920; ne fu Presidente e Commissario straordinario nel 1944 - 45. Egli si occupò dell'effetto fotoelettrico nel selenio e, negli ultimi anni, anche di meteorologia. Contribuì essenzialmente alla realizzazione delle cliniche universitarie delle Molinette.

Nella ricorrenza centocinquantennale o centenaria della nascita o della morte di nostri soci illustri, non posso non ricordare, anche brevemente, alcuni matematici. Fra di essi vi è Gustaf Magnus Mittag-Leffler, matematico svedese nato a Stoccolma il 16 marzo 1846 e morto a Fjursholm il 7 luglio 1927. Il Mittag-Leffler, professore a Stoccolma dal 1881, fu uno dei più illustri allievi di Weierstrass, di cui continuò l'indirizzo. Ha dato il suo nome a un celebre teorema sulle funzioni meromorfe ed effettuate ricerche sulla rappresentazione analitica di una funzione monogena in un campo detto stella di Mittag-Leffler. Fondatore degli Acta-Mathematica, fu eletto socio di questa Accademia il 12 gennaio 1896.

Merita di essere ricordato pure, in questa solenne circostanza, Louis Poinsot, matematico francese, nato a Parigi due secoli or sono e cioè il 3 gennaio 1777 e ivi morto il 5 dicembre 1859. Professore di Analisi e di Meccanica all'Ecole Polythechnique, è rimasto famoso per i suoi studi cinematici sul moto di un corpo rigido intorno a un punto fisso e la sua interpretazione geometrica nel caso dinamico in cui il momento risultante delle forze agenti rispetto al punto fisso è nullo. Fu eletto socio di questa Accademia il 10 gennaio 1841.

Infine mi è molto gradito ricordare Tommaso Boggio, nato a Valperga Canavese un secolo fa, precisamente il 22 dicembre 1877, e morto a Torino il 25 maggio 1963.

Il Boggio insegnò, a partire dal 1905, in diverse sedi, Fisica matematica e Matematica finanziaria fino al 1908, quando, dopo aver vinto un concorso a cattedra di Meccanica razionale, e dopo la morte di Moreza, fu chiamato a coprire la cattedra di Meccanica superiore all'Università di Torino, dove ha impartito questo insegnamento fino a tutto il 1942, fino a quando rinunciò generosamente a questa cattedra, per consentire a chi vi parla di succedere ad essa, passando a quella di Matematiche complementari che occupò fino al suo collocamento fuori ruolo nel 1948.

Parallelamente al corso di Meccanica superiore il Boggio tenne anche per molti anni lezioni di Analisi matematica all'Accademia militare di Torino, preparando

diverse generazioni di ufficiali.

La sua opera scientifica, altamente apprezzata, riguarda le questioni più dominanti che interessavano la scienza matematica verso la fine del secolo scorso e i primi decenni di questo secolo. Fra i suoi studi che vertono su svariate questioni di Meccanica, Fisica matematica, Matematica finanziaria, Geometria e Analisi pura, sono di particolare importanza quelli sulla teoria del potenziale, sulle funzioni armoniche e biarmoniche, sull'equilibrio delle membrane e delle piastre elastiche piane, sulla deformazione e le vibrazioni di un corpo elastico, sulla teoria del calore, sull'induzione magnetica e sulle equazioni integrali. Era socio nazionale di questa Accademia dal 1924. La sua biografia è più ampiamente esposta nella commemorazione da me letta in questa sede il 3 febbraio 1965.

E ora, passo a dire brevemente di alcuni aspetti della vita e dell'opera scientifica di Carl Friedrich Gauss (2).

Gauss nacque a Braunschweig il 20 aprile 1777 in una casa di Wilhelmstrass distrutta in una incursione aerea del 15 ottobre 1944, ricostruita in museo, una lapide sul fronte della porta ne ricorda l'esistenza. Suo padre Gebhard Dietrich portò il titolo di mastro di impianti idraulici, ma in realtà ebbe diverse occupazioni e assistette anche dei mercanti sui mercati di Braunschweig e di Leiptzig. Uomo assolutamente onesto, che sapeva scrivere e calcolare molto bene, era assai stimato e rispettato, ma nella sua casa spadroneggiava e si mostrava spesso rude e violento. Sua madre Dorothea Benze, sposata da Gebhard in seconde nozze, era invece una donna molto buona e mite che non aveva avuto speciali insegnamenti, che non era in grado di scrivere e sapeva appena leggere; prima di sposarsi aveva servito per sette anni come domestica. A causa di questa incompatibilità di carattere questo matrimonio non fu molto felice.

Il piccolo Gauss, di natura docile, non potè pertanto essere col padre in piena confidenza, sebbene mai un disaccordo fosse nato fra di loro. Per questo egli fu più incline verso la madre. Dai ricordi dello stesso Gauss risulta che ella non ricordava la esatta data di nascita del figlio, ma ella sapeva soltanto che era nato un mercoledì, otto giorni prima dell'Ascensione. Questa circostanza dette più tardi a Gauss l'occasione di stabilire la formula che permette di calcolare il giorno in cui cade la Pasqua in ogni anno.

La vita di Gauss non presenta momenti tragici di sventure e di disastri, come

(2) Per più ampie notizie sulla vita e le opere di G. vedere: G.WALDO DUMINGTON, C. F. G., *a study of this live and work.* Exposition press. New York 1955. W. SARTORIUS VON WALTERSHAUSEN, G. *zum gedächtnis,* Lipsia 1856. L. HAUSELMANN, K. F. G., Lipsia, 1878. L. SCHLESINGER, *Der junge G.*, in «Nachrichtend di giessener hochschulges», V, 1927, H. MACH. C. F. G., *und die sèinen festchrift zu seinem 150 geburtstage*, Brunswick, 1927.

avvenne per quella di Keplero e di Galileo, ma fu segnata, come per ogni esistenza umana, da periodi di felicità e di afflizioni. Egli visse in un'epoca in cui la Germania ebbe tre grandi geni: Göthe, Gauss e Wagner; ma quando Gauss era al culmine della sua fama, Göthe era nei suoi anni di declino e Wagner non aveva ancora acquistata la sua celebrità.

I numerosi aneddoti della sua prima infanzia, che lo stesso Gauss amò raccogliere prima della fine della sua vita, rivelano che egli portava già il segno di un genio vivace e brillante. Già dai primi suoi anni egli dette prova straordinaria della sua attività mentale. Dopo aver appreso dai suoi familiari la pronuncia delle lettere dell'alfabeto egli imparò a leggere da sé stesso anche prima di andare a scuola, e a comprendere le relazioni fra i numeri, mostrando una incredibile facilità e correttezza in aritmetica mentale da attirare con stupore l'attenzione dei parenti e l'interesse degli amici.

Il padre Gebhard conduceva in estate un commercio di laterizi e il sabato era solito pagare gli uomini che lavoravano sotto di lui in proporzione delle ore di lavoro. Una volta dopo il lavoro, effettuati i calcoli per ciascuno di essi, stava per pagarli, quando il treenne Gauss gli gridò con voce infantile: «Padre il calcolo è sbagliato» ed egli pronunciò un certo numero come il vero risultato.

Nel 1784, quando Gauss ebbe raggiunto il settimo anno, egli entrò nella scuola di Santa Caterina che era sotto la direzione di un insegnante chiamato Büthner. In questa scuola, in cui veniva impartito un insegnamento elementare, Gauss rimase per due anni e qui mi piace ricordare l'episodio a molti ben noto. Un giorno Büthner dette in classe l'esercizio di scrivere e sommare i numeri da 1 a 100, con la convinzione che esso avrebbe tenuto impegnati gli allievi per un buon tempo senza essere disturbato. Senonché poco dopo che era stato dato il problema, mentre gli altri ragazzi si affannavano in addizioni e moltiplicazioni, il piccolo Gauss gettò sul tavolo la sua tabella e nel basso dialetto di Braunschweig disse: *ligget se*. Büthner lanciò uno sguardo sarcastico sul suo vivace alunno e mostrò un leggero scorno; ma con grande meraviglia e stupore egli lesse sul quaderno di Gauss un solo numero che era la risposta esatta al quesito. Per spiegare all'insegnante come era arrivato al risultato disse: $100 + 1 = 101$, $99 + 2 = 101$, $98 + 3 = 101$, ecc. Dunque la risposta era 50 per $101 = 5050$.

Convinto della precocità del ragazzo lo stesso Büthner ebbe un colloquio col padre di Gauss intorno alla sua educazione e sul modo di ottenere i mezzi per continuare gli studi, con domanda di assistenza che certamente non gli sarebbe mancata.

Così l'ostinato padre che ogni sera teneva occupato il figlio a filare una certa quantità di lino, dopo quella conversazione trasportò la ruota da filare nel cortile e più tardi la tagliò per legna da cucina. Libri di matematica presero quindi il posto di quella ruota nelle ore serali, con l'assistenza di un certo Bartels, che

aiutava il piccolo allievo nella rifinitura dei suoi scritti, divenendogli quindi amico e appassionandosi anch'egli negli studi di matematica. Così a undici anni Gauss venne in indipendente possesso del teorema sullo sviluppo binomiale nella sua completa generalità, con informazioni sulla teoria delle serie, che gli aprirono la via all'alta analisi.

Si narra che Gebhard Dietrich nelle sere d'inverno facesse andare presto a letto i suoi ragazzi per risparmiare luce e calore. Allora Carl Friedrich nella sua camera solaio prese una rapa, la scavò, e vi introdusse un grosso lucignolo di cotone per ottenere una rudimentale lampada e studiare così fino a metà della notte, fino a che le forze lo costringevano di andare a letto.

A Bartels si deve pure il servizio reso nell'informare diverse personalità di Braunschweig intorno all'abilità del giovane Gauss e particolarmente il Consigliere E. M. W. Zimmermann, al cui orecchio erano già giunte notizie dell'insolito talento e che intervenne in suo favore presso il Duca di Braunschweig Friedrich Wilhelm.

Un giorno la Duchessa trovò il giovane Gauss nel recinto del palazzo assorbito su un libro e intavolò una conversazione con lui. Al principio scettica, ella ben presto si accorse che il ragazzo sapeva tutto quello che stava leggendo e stupita informò il Duca e lo fece convocare. Quando il lacchè entrò nella casa di Gauss il messaggio du consegnato al fratello maggiore Giorgio, ma questi contrariato rispose che esso riguardava suo fratello «buono a nulla col naso sempre attaccato su un libro».

Così per interessamento e con l'aiuto finanziario del Duca nel 1792 Gauss, a 15 anni, entrò nel Collegio Carolineum, che era una istituzione nata per studiare soggetti non insegnati nelle facoltà universitarie e riempire una lacuna fra il Ginnasio e l'Università. In questo istituto Gauss completò le sue conoscenze sulle lingue antiche, imparò le lingue moderne e si occupò di astruse investigazioni matematiche. Sembra che a quel tempo abbia studiato accuratamente i lavori di Newton, Eulero e Lagrange, particolarmente attratto dal grande spirito di Newton, il cui metodo egli pienamente dominò.

Durante l'ultimo anno in quella sede Gauss scoprì il metodo dei minimi quadrati, stabilito con lo scopo che inevitabili errori di osservazione affettino i risultati il meno possibile, e dedusse inoltre la legge di probabilità o degli errori.

L'11 ottobre del 1795 il giovane scienziato lasciava Braunschweig per andare all'Università di Göttingen, che era stata scelta per la grande ricchezza di letteratura matematica che vi era nella sua biblioteca. Il lungimirante Duca di Braunschweig, animato dall'interesse per lo sviluppo del talento del giovane uomo, acconsentì volentieri a questa sçelta e dette ordine che l'Ufficio Ducale disponesse annualmente la somma di 158 talleri per la sua assistenza. Questo stipendio fu poi elevato a 400 talleri e gli fu concesso inoltre un libero appartamento; ma il

Duca pare che aggiungesse allo stipendio un certo ammontare dei suoi propri mezzi.

Nella Georgia Augusta Università di Gottinga, così chiamata perché fondata del Re Giorgio II d'Inghilterra, Gauss fu considerevolmente stimolato dalle lezioni del brillante fisico G. C. Lichtenberg, che era considerato il dominante adornamento di Gottinga. Ivi fu pure in amichevole relazione col professore di astronomia C. F. Leyffer; ma in quel tempo l'amico più stretto di Gauss fu Wolfgang Bolyai von Bolya, discendente di un'antica nobile famiglia ungherese. In quella sede camminando sui passi di Eulero e di Lagrange, Gauss fu animato di nuovo ardore per gli studi di matematica, col fermo proposito di spingere più avanti i limiti di questa scienza.

L'anno successivo, e precisamente il 30 marzo 1796, l'appena diciannovenne studente faceva una strabiliante scoperta che determinò l'elevatezza della sua futura carriera e che da sé stesso fu sempre considerata una delle più grandi.

Sin dai più lontani tempi di Euclide si riteneva che i soli poligono regolari che si potessero costruire geometricamente (con sola riga e compasso), fossero il triangolo, il quadrato, il pentagono, il poligono di 15 lati e quelli che sorgono dalla continua duplicazione dei lati di ciascuno di essi. Ma dopo due millenni Gauss dimostrava per primo che questo era anche possibile per il poligono di 17 lati, e la scoperta veniva pubblicata nella *Allgemeine Literaturzeitung* dell'aprile 1796.

Lo stesso Gauss espresse all'amico Bolyai il desiderio che questo poligono di 17 lati adornasse poi la sua tomba. Questo non sarebbe avvenuto; fu però progettato di scolpirlo sulla base del monumento che dopo la sua morte fu eretto a Braunschweig. Senonché il costruttore Howaldt osservò che un poligono di 17 lati si sarebbe confuso con un cerchio e allora sulla base di quel monumento vennero inchiodate in circolo 17 stelline.

Da due lettere inviate al Consigliere Zimmermann, alla chiusura del 1797, risulta che in quell'epoca Gauss stava lavorando sulla *Disquisitiones arithmeticae*, la prima opera che lo pose subito nel rango dei più grandi matematici di tutti i tempi. Essa contiene la dimostrazione del celebre teorema fondamentale dell'algebra, secondo il quale ogni equazione algebrica ammette almeno una radice reale o immaginaria. In merito a quest'opera Lagrange scrisse al giovane scolaro che le sue *Disquisitiones* lo avevano elevato d'un colpo al livello dei primi matematici e che il contenuto relativo alla divisione del cerchio e alla teoria delle equazioni gli sembrava come la più bella scoperta analitica che fosse stata fatta da lungo tempo.

Assai degno di nota è un passo di quest'opera dove egli osserva che i principi del suo metodo sono applicabili a molte altre funzioni oltre quelle circolari

e in particolare alle trascendenti dipendenti dall'integrale di $dx/\sqrt{1-x^4}$. Egli investigò anche l'equazione per la divisione della lemniscata, stabilendo che questa curva può essere divisa colla riga e col compasso in cinque parti eguali. Questi risultati, come osservò Jacobi, mostrano che Gauss, già prima del 1801 aveva esaminato la natura e le proprietà delle funzioni ellittiche e scoperta la loro proprietà fondamentale della doppia periodicità. Nel corso di una investigazione astronomica arrivò ad alcuni integrali ellittici la cui valutazione egli effettuò per mezzo di una trasformazione che si ritrova nelle trasformazioni delle serie di Jacobi.

La notte di Capodanno del 1801, come ho già detto, l'astronomo Piazzi in Palermo scopriva, nella regione del firmamento compresa fra le orbite di Marte e Giove, il piccolo pianeta che poi fu chiamato Cerere, che egli al principio credette essere una cometa senza coda e senza chioma. Di questa scoperta il Piazzi diede notizia a Bode direttore dell'Osservatorio di Berlino, a Oriani in Milano e a Lalande in Parigi. Il Lalande informò quindi di essa il Barone Franz von Zach, direttore dell'Osservatorio di Gotha, e successivamente Bode e Oriani gli inviarono un accurato rapporto che von Zach pubblicò nel numero di giugno del *Monatliche Correspondenz*. Le complete osservazioni di Piazzi, effettuate dal 1° gennaio all'11 febbraio 1801, furono poi pubblicate in settembre nello stesso *Monatliche Correspondenz* e così esse vennero a conoscenza di Gauss. Egli allora, attratto dall'interesse della nuova scoperta, silenziosamente e con passione si dedicò alla ricerca di quei metodi matematici, esposti più tardi nella *Theoria Motus*, che permettono di determinare mediante osservazioni non abbraccianti un gran periodo di tempo, e senza ipotetiche ammissioni, l'orbita di un corpo celeste che si muove intorno al Sole secondo la legge di Newton, questione questa che a quei tempi era ritenuta impossibile. In particolare si sforzò di trovare un'orbita ellittica che si adattasse il più possibile alle osservazioni di Piazzi relative al pianeta Cerere. Ciò era molto importante perché, colla conoscenza dell'orbita del nuovo pianeta, esso si potesse riscoprire nel cielo. E infatti la ridiscoperta di Cerere, avvenuta in una notte dell'ottobre 1801, in una regione del cielo molto remota da quella in cui era stato scoperto, fu una spettacolare conferma dell'importanza e del valore della creazione di Gauss, che lo portò nel mondo degli astronomi teorici del più alto rango.

In *Theoria Motus*, a proposito dello sviluppo di una funzione in serie di poteze, Gauss ebbe lo spunto per lo studio di quella serie che porta il suo nome e che da Pfaff fu chiamata *serie ipergeometrica*, studio presentato il 30 gennaio 1812 alla Reale Società di Scienze di Gottinga col titolo: *Disquisitionis generales circa seriam infinitam*

$$1 + \frac{\alpha \cdot \beta}{1 \cdot \gamma} x + \frac{\alpha(\alpha + 1)\,\beta(\beta + 1)}{1 \cdot 2 \cdot \gamma(\gamma + 1)} x^2 +$$

$$+ \frac{\alpha(\alpha + 1)(\alpha + 2)\,\beta(\beta + 1)(\beta + 2)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \gamma(\gamma + 1)(\gamma + 2)} x^3 + \ldots$$

Questa serie era già stata studiata da Eulero, ma Gauss fu il primo a dominarla, a dedurre l'equazione differenziale cui soddisfano le relative funzioni, a investigare adeguatamente la convergenza.

Mentre si occupava di queste teorie Gauss veniva interessato dal suo amico H. C. Schumacher, professore di astronomia a Copenaghen, alla preparazione scientifica e tecnica delle operazioni geodetiche in Danimarca ed egli stesso nel 1820 venne incaricato dal governo di Hannover a dirigere analoghe operazioni fra Gottinga e Altona. In quella campagna, durata cinque anni, la necessità di segnali precisi lo spinse all'invenzione di un semplice ma ingegnoso strumento cui dette il nome di *eliotropo*.

Contemporaneamente egli attese anche a ricerche teoriche fra le quali una nuova trattazione del metodo dei minimi quadrati, e una memoria, premiata dalla Società delle Scienze di Copenaghen, sulla rappresentazione conforme delle superficie, in cui sviluppa un nuovo ramo, divenuto poi rigoglioso, di matematica pura.

Fra i contributi più notevoli che Gauss dà in questo lavoro sono da segnalare i teoremi relativi alle coordinate geodetiche, alla curvatura geodetica, e la dimostrazione della proprietà che comunque si deformi una superficie flessibile e inestendibile rimane invariato in ciascun punto il prodotto delle curvature principali, cioè la curvatura totale detta di Gauss.

Ai fondamenti della geometria Gauss rivolse pure la sua attenzione sin dalla prima giovinezza. Dalla sua corrispondenza con Schumacher, Bolyai, Gerling e altri, e da alcuni suoi appunti manoscritti, risulta che egli ebbe la chiara visione della possibilità di una geometria indipendente dal V postulato di Euclide, molto tempo prima che apparissero le opere di J. Bolyai e N. I. Lobacevski, dimostrando alcuni teoremi fondamentali di una nuova geometria che egli chiamò anti-euclidea.

Il 30 novembre 1830 si rendeva vacante la cattedra di fisica dell'Università di Gottinga, in seguito alla morte di Tobias Mayer, e il ministro di Hannover, incaricato di affari universitari, invitava Gauss a esprimere le sue vedute circa l'occupazione di quel posto: Gauss in un lungo rapporto fece presente le qualità che doveva avere un professore di fisica per insegnare nell'Università di Gottinga, che

secondo il suo punto di vista non era soltanto una scuola per l'istruzione di studenti, ma anche un centro per lo sviluppo e l'estensione della scienza. Egli riteneva inoltre che il nuovo insegnante doveva essere versato in tutti i rami della fisica, essere nello stesso tempo un ottimo matematico, chiaro nelle sue lezioni e sapere illustrare queste con ben eseguiti esperimenti. Gauss allora fece i nomi di cinque fisici che secondo la sua opinione possedevano quei requisiti. Ma per quanto egli volle essere il più obiettivo e coscienzioso possibile la sua attenzione ricadde su Wilhelm Weber, allora professore ad Halle, giovane di 27 anni, che aveva conosciuto in occasione di un convegno di scienziati tenuto a Berlino nel 1828. Gauss, che era ospite di Alexander von Humboldt, in quella occasione ebbe modo di ascoltare una sua conferenza e di intrattenersi con lui in varie questioni di fisica e particolarmente sui problemi relativi al magnetismo terrestre, ai quali da tempo aveva diretto la sua attenzione, riportandone un'impressione di alta meraviglia per la sua vivacità e la sua profonda cultura.

Così nel 1835 Weber, le cui pubblicazioni mostrano un fine spirito di indagine e grande talento negli esperimenti, fu chiamato a coprire la cattedra di fisica dell'Università di Gottinga e Gauss trovò in lui non solo un amico devoto, ma anche un prezioso collaboratore nelle sue ricerche sul magnetismo.

Durante il convegno del 1828, Humboldt, che aveva nella sua casa una piccola collezione di strumenti magnetici, esortò fortemente Gauss di dedicare qualche tempo al magnetismo. Egli, così stimolato, dopo il ritorno a Gottinga fu indotto a dedicarsi a questi studi e a rivolgere la sua attenzione sul calcolo dell'intensità magnetica. Nel 1829 ebbe la visita del fisico belga Quetelet, col quale nel cortile della sua casa, e coi suoi apparecchi, eseguì una serie di esperienze sull'intensità della forza magnetica, ed ebbe inoltre lo spunto per la determinazione del periodo di oscillazione di un ago magnetico, i cui risultati furono poi pubblicati in una nota del 1837.

Ma prima di iniziare queste ricerche Gauss aveva stabilito quel principio generale e fondamentale della meccanica, detto della *minima costrizione* o del *minimo sforzo*, pubblicato nel Giornale di Crelle del 1829 sotto il titolo: *Ueber ein allgemeines Grundgesatz der Mechanik*, logicamente equivalente alla relazione simbolica della dinamica dei sistemi con vincoli privi di attrito, ma che presenta un estremo interesse perché permette di studiare le leggi della meccanica sotto nuovi punti di vista e facilita la trattazione di estese classi di problemi particolari. Il suo enunciato, tradotto quasi alla lettera, dice: *Il moto di un sistema di punti materiali, comunque vincolati e sollecitati, a ogni istante si raccorda il più possibile col moto che essi assumerebbero se divenissero tutti liberi, cioè si svolge con la più piccola costrizione possibile, ove si prenda come misura della costrizione subita in un intervallo di tempo abbastanza breve, la somma di prodotti della*

massa di ciascun punto pel quadrato del suo scostamento dalla posizione che assumerebbe nel moto libero.

In formula detta costrizione, indicata con γ, è così espressa

$$\gamma = \sum_{1}^{N} {}_i\, m_i \left(a_i - \frac{\mathbf{F}_i}{m_i} \right)^2 ,$$

dove i simboli hanno significato ben noto e $a_i - \mathbf{F}_i/m_i$, è la differenza tra l'accelerazione nel moto naturale di un punto generico del sistema vincolato e quella che lo stesso punto avrebbe se fosse completamente libero.

Il principio di Gauss afferma dunque che per un sistema materiale soggetto a vincoli bilaterali e privi di attrito, e comunque sollecitato, fra tutti i moti compatibili coi vincoli che esso può assumere, quello naturale è caratterizzato dal rendere minima la costrizione.

Questo principio, che in confronto di quello di Hamilton ha il pregio di non involgere una integrazione rispetto al tempo, è applicabile, non solo ai sistemi olonomi, ma anche a sistemi anolonomi. Da esso segue come corollario il principio della minima curvatura o di Hertz, e ad esso è collegata una forma notevole che l'Appell ha stabilito per le equazioni differenziali generali della Dinamica.

L'anno successivo alla pubblicazione di quel principio Gauss presentò alla Società delle Scienze di Gottinga la notevole memoria: *Principia Generalia Theoriae Figurae Fluidorum in Statu Aequilibrii*, importante anche per l'influenza che ebbe nello sviluppo del calcolo delle variazioni, in quanto per la prima volta viene risolto un problema di variazione in un campo bidimensionale con le condizioni al contorno.

L'arrivo di Weber a Gottinga nel 1831, che esercitò un grande stimolo su Gauss, segnò l'inizio di un lungo periodo di intense ricerche sui fenomeni magnetici, su cui Gauss si era interessato sin dal 1803, ma, benché sollecitato da Humboldt e dall'astronomo Olbers, se n'era poco occupato perché assorbito da altri soggetti. Dal gennaio 1832 egli si lanciò con tutte le sue forze allo studio dell'intensità del magnetismo terrestre e primo frutto fu il lavoro dal titolo: *Intensitas vis magneticae terrestris, ad mensuram absolutam revocata*, letta alla Società delle Scienze di Gottinga il 15 dicembre 1832. In questa memoria, che da Woodward fu considerata una delle più importanti del secolo, Gauss ridusse tutte le misure magnetiche a tre grandezze fondamentali, quelle di massa, di lunghezza e di tempo, e introdusse il postulato che ogni corpo magnetico contiene uguali quantità di due fluidi magnetici: nord o positivo, e sud o negativo. Inoltre egli osservò che le forze magnetiche dipendono anche dalla temperatura e ne investigò l'influenza sulla misura della grandezza di tutti gli elementi del magnetismo terrestre.

Per eseguire le delicate osservazioni che gli permettessero di verificare i risultati delle sue elaborazioni matematiche, Gauss chiese all'Università di Gottinga, ed ottenne subito, la creazione di un osservatorio magnetico che cominciò a funzionare nell'autunno del 1833. L'osservatorio fu corredato di un teodolite, un orologio astronomico e un magnetometro, e in esso furono eseguite essenzialmente misure della declinazione magnetica e le sue variazioni orarie, giornaliere, mensili e annuali. Per queste osservazioni Gauss e Weber ebbero sette assistenti, fra cui vi era il figlio di Gauss, Wilhelm.

Analoghe osservazioni furono quindi promosse in numerose altre sedi da scienziati seguaci di Gauss che avevano visitato l'osservatorio di Gottinga, divenuto il centro delle ricerche magnetiche.

Per pubblicare i risultati di quelle osservazioni, e le ricerche relative, Gauss e Weber fondarono un periodico il cui primo numero apparve nel 1837 sotto il titolo *Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins*. Di questo periodico furono pubblicati sei volumi e coprirono i rapporti degli anni 1836 - - 1845. Nonostante le difficoltà della diffusione esso acquistò grande importanza come centro per pubblicazione di ricerche sul magnetismo terrestre e argomenti relativi.

In quel periodico Gauss pubblica nel 1836 la memoria *Erdmagnetismus und Magnetometer* e l'anno dopo, colla collaborazione di Weber, inventa il magnetometro bifilare, che serve alla determinazione delle variazioni della componente orizzontale della forza magnetica terrestre e di esso vien data notizia in una nota dei *Resultate*. Finalmente Gauss, che già nel 1832 possedeva tutti gli elementi essenziali di una teoria generale del magnetismo terrestre, nel 1839 pubblica nel volume III dei *Resultate* la sua *Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus*, dove vien calcolata la direzione dell'asse magnetico terrestre, la grandezza del momento magnetico e la forza di magnetizzazione della Terra. Ad essa fece seguito, nel 1840, la pubblicazione di un estensivo *Atlas des Erdmagnetismus* basato su quella teoria.

Di speciale importanza alla chiusura dell'*Allgemeine Theorie* è un elegante teorema di cui Gauss non dette prova, ma è semplicemente enunciato. Esso stabilisce che l'effetto di qualsiasi distribuzione di fluido magnetico nell'interno di un corpo è lo stesso di quello di un'opportuna distribuzione di magnetismo sulla sua superficie.

Ad esso sono collegate: le proposizioni fondamentali sulla teoria del potenziale e tutti i ben noti teoremi sul flusso attraverso una superficie chiusa del campo generato da masse newtoniane, o magnetiche, o da cariche elettriche, poste all'interno o all'esterno della superficie, la cui prova implica l'uso di quelle formule di trasformazione di integrali di volume in integrali di superficie, o viceversa, dovute allo stesso Gauss.

In una nota del 1840, pubblicata nei *Resultate*, figura per la prima volta la parola *potenziale* per indicare quelle funzioni che definiscono le forze di attrazione o repulsione di natura newtoniana o coulombiana. In realtà il nome di funzione potenziale per queste funzioni era già stato usato da G. Green sin dal 1828; ma Gauss evidentemente non ne aveva conoscenza.

Al riguardo è di particolare importanza il noto teorema della media di Gauss per il potenziale nel centro di una sfera di una distribuzione qualsiasi di masse materiali o magnetiche, teorema che più in generale sussiste per le funzioni che soddisfano l'equazione di Laplace.

Ma il teorema che Gauss considerava il più importante è quello che afferma che vi è sempre una e una sola distribuzione di date masse sopra una superficie, tale che il potenziale di queste masse assuma in tutti i punti di questa superficie, prescritti valori.

Gauss, in accordo colle vedute di Franz Neumann, si occupò anche intensamente dei fenomeni di induzione elettromagnetica. Inoltre in collaborazione con Weber, si occupò dei problemi delle trasmissioni telegrafiche mediante correnti elettriche con filo, stabilendo un circuito tra il laboratorio di fisica e l'Osservatorio. Le prime parole inviate furono: *Michelmann kommt*, essendo Michelmann l'inserviente che correva errando per Gauss e Weber.

Quella linea resistette fino al 1845, quando essa fu distrutta da un fulmine; ma quegli studi e quegli esperimenti aprirono più tardi la via, a Steinheil e Matteucci per la realizzazione pratica del telegrafo.

Gauss manifestò anche un grande interesse, come un *hobby*, per la cristallografia, e i lavori di astronomia lo indussero a occuparsi di problemi di ottica e di diottrica relativi al calcolo di corretti obiettivi acromatici di telescopi, e fece costruire oculari usati tuttora, che portano il suo nome. I risultati che con grande successo egli aveva ottenuto da vario tempo in questo campo furono raccolti nella memoria *Dioptrische Untersuchungen*, pubblicata nel 1840, in cui tratta il problema del percorso di un raggio di luce attraverso un sistema di superficie sferiche concentriche rifrangenti.

Da fanciullo Gauss aveva spesso frequentato la casa di un certo conciatore chiamato Ritter, dove la madre aveva lavorato prima di sposarsi con Gebhard Dietrich.

Dopo il suo ritorno da Gottinga egli prese di nuovo parte alle riunioni in quella casa e in quelle occasioni ebbe modo di conoscere Johanna Elisabeth Rosina Osthoff, figlia prediletta di un maestro conciatore. Ella non era di una abbagliante bellezza, né possedeva una grande istruzione, ma aveva tutti quei doni atti a rendere felice l'unione con Gauss. Così il 9 ottobre 1805 essi si sposarono nella chiesa di Santa Caterina e da questa unione nacquero tre figli. Al primo, nato a

Braunschweig, dette il nome di Joseph per ricordare Piazzi, lo scopritore di Cerere; gli altri due, nati a Gottinga furono: una bambina, nominata Wilhelmina per il suo amico Olbers, che fu sempre chiamata Minna, morta dopo pochi mesi di età, e Ludwig in nome dell'astronomo Harding.

La morte di Minna e la terza maternità causarono a Johanna molte sofferenze per cui ella decedette l'11 ottobre 1809, dopo quattro anni di felice matrimonio. L'afflitto marito, che l'amò molto appassionatamente, colpito profondamente, scrisse a Olbers: l'ultima notte alle otto suonate io ho chiuso gli occhi dell'angelo in cui per cinque anni ho trovato il cielo. Colla morte della moglie Johanna, Gauss venne a trovarsi solo e privo di quella serenità necessaria per i suoi studi e i suoi lavori. D'altra parte la necessità di dare una nuova madre, tenera e premurosa, ai suoi bambini lo costrinsero a risposarsi. La scelta della seconda moglie cadde su Minna Waldeck, la più giovane figlia del professore: Johann Peter Waldeck di Gottinga, e le nozze avvennero nella chiesa di S. Giovanni in Gottinga il 12 settembre 1810. Anche questa unione non durò molto, poiché la salute di Minna, dopo appena otto anni di matrimonio, incominciò a declinare. Vi furono dei periodi di miglioramento, ma, sofferente pare di consunzione, la malattia progredì quasi incessantemente ed ella morì il 12 settembre 1831 all'età di 43 anni. Da Minna Gauss ebbe altri tre figli: il primo, il più interessante dei figli di Gauss, fu Peter Samuel Marius Eugenius; poi venne Wilhelm August Carl Mathias, e infine Henriette Wilhelmine Carolina Therese, in onore di Olbers. Quest'ultima fu sempre chiamata Teresa e a lei Gauss fu molto attaccato per tutta la sua vita.

Gauss era un uomo dall'apparenza fisica gagliarda e solenne, di media altezza, la barba bionda, diventata di un'argentea bianchezza negli ultimi anni, con chiari e penetranti occhi azzurri. Egli si sentiva interamente un matematico, pur con inclinazione verso le scienze fisiche, che gli offrirono una certa ricreazione, chiamò la matematica la regina delle scienze e la teoria dei numeri la regina della matematica. La matematica, che spesso serve l'astronomia e altre scienze, conservando la sommità del suo rango, era considerata da Gauss come il principale mezzo di educazione della mente umana; ma riconosceva il valore e l'importanza degli studi della letteratura classica e ai suoi studenti raccomandava lo studio degli antichi matematici, in particolare Euclide e Archimede. Egli stesso fin dall'adolescenza ebbe familiarità con le lingue antiche e fu versato nella loro letteratura. La maggior parte dei suoi lavori furono pubblicati in latino e lo stile che in essi si riscontra fu altamente apprezzato da competenti autorità. Ma egli volse anche il suo ingegno allo studio e alla conoscenza delle moderne lingue europee, e scriveva e parlava le principali di esse quasi correttamente.

Fra gli uomini dell'antichità che Gauss stimò più altamente fu Archimede, ma si meravigliava del fatto che nel calcolo dell'*Arienus* un tale genio non avesse

scoperto il sistema decimale.

Il matematico a cui Gauss forse fu più affine, per temperamento e scoperte, fu Newton al quale soltanto rivolse l'aggettivo *hommus*.

Gauss ebbe una bassa opinione dell'intelligenza e dell'etica della gente in generale e frequentemente espresse questa veduta con riferimento a personalità politiche, religiose e a studiosi di materie scientifiche del suo tempo. Egli soleva dire *mundus vult decipi* e guardava con occhio diffidente e con disdegno agitatori e plebaglia tumultuante.

Come in generale tutti gli spiriti nobili, dediti alla meditazione e al culto della scienza, coll'animo attratto verso ogni espressione di bellezza e di arte, Gauss amò molto la musica e la poesia. Se ascoltava una bella canzone o romanza che lo attirava, subito egli la scriveva con accuratezza nei suoi appunti. Una delle canzoni favorite fu la ben nota *Als ich ein Jung geselle war*; e appuntò inoltre la celebre *Mignon* di Göthe: *kennst du das Land*, dove in tre strofe sono stupendamente descritte le mirabili bellezze dell'Italia meridionale, centrale e settentrionale.

Le convinzioni religiose di Gauss erano strettamente connesse con la natura filosofica della sua vita, improntate a uno spirito di serenità e di pace. Esse erano basate su una insaziabile brama per la verità e un profondo sentimento di giustizia. Non è noto esattamente quale fosse il suo pensiero sulle questioni dottrinali e confessionali, ma è certo che non ebbe letteralmente fede in tutti i dogmi cristiani. Ufficialmente egli era membro della chiesa luterana evangelica di Sant'Albano in Gottinga e ivi avvennero tutti i battesimi, funerali e sposalizi della sua famiglia. Egli possedeva una grande tolleranza verso quelle credenze originate nel profondo del cuore umano e manifestava uno speciale interesse nello sviluppo religioso delle razze umane. Gauss concepiva la vita spirituale nell'intero universo come un gran sistema di leggi penetrate da eterna verità, e da questa concezione traeva la ferma convinzione che la morte non è la fine di tutto.

Grande era la fama che Gauss aveva acquistato in tutta l'Europa per le sue scoperte matematiche. Laplace, il sommo autore della *Méchanique Cèleste*, imperante all'Accademia di Parigi, dopo che il giovane matematico ebbe dato il suo primo importante contributo all'astronomia, si dice che avesse esclamato: «Il Duca di Braunschweig ha scoperto nella sua contrada di più che un pianeta, ma uno spirito superterrestre in un ragazzo umano». Diversi anni più tardi Laplace raccomandò a Napoleone il conquistatore di avere speciale considerazione per la città universitaria di Gottinga, poiché il primo matematico del suo tempo dimorava ivi.

Nel tempo in cui la potenza di Napoleone venne a minacciare la Germania occidentale e la Prussia rivolse l'attenzione verso la Russia come un alleato il Duca fu incaricato dalla corte di Berlino di una missione diplomatica a Pietroburgo.

In quell'occasione molti lo interrogarono sul giovane astronomo Gauss e lo esortarono di concedere a Gauss il diritto di accettare la chiamata a Pietroburgo. Ma ritornato a Braunschweig egli elevò il mensile di Gauss a 600 talleri.

Quando nel 1805 il Re di Prussia chiese a Humboldt di nutrire con nuove nomine l'Accademia delle Scienze di Berlino, per ridarle lo splendore del suo nome, Humboldt informò il Re che il solo nome che darebbe all'Accademia di Berlino nuovo splendore era C. F. Gauss.

Anche Jacobi, classificato secondo dopo Gauss, e che era incline a criticare il suo carattere, ammise la sua supremazia intellettuale.

Nell'anno 1810 Gauss ricevette dall'Istituto di Francia una nuova distinzione: il premio fondato dal Signor Lalande per la migliore opera e l'osservazione astronomica più curiosa. Ma egli non concesse mai che questo premio gli fosse pagato, poiché non voleva accettare alcuna moneta dalla Francia. Parte di questo premio fu usato da Delambre, segretario dell'Istituto, per l'acquisto di un orologio a pendolo che fu spedito a Gauss e usato nella sua stanza per il rimanente della sua vita.

Il maggior trionfo tributato a Gauss avvenne a Gottinga il 16 luglio 1849 in occasione del suo aureo giubileo. Erano trascorsi esattamente 50 anni da quando gli era stato conferito il dottorato dall'Università di Helmstadt e aveva presentato la celebre dissertazione in cui aveva dato la prima rigorosa prova del teorema fondamentale dell'algebra. Un grande cerchio di amici, ammiratori e allievi si radunò intorno a lui per rendergli onore. Fra i presenti vi erano Jacobi, Dirichlet, Gerling; l'astronomo Hansen e il Prof. W. H. Miller, il mineralogista e cristallografo dell'Università di Cambridge. In quell'occasione gli fu rinnovato il diploma di dottorato, e ricevette medaglie, ordini, congratulazioni da università, accademie, da principi, amici e colleghi, che lo commossero profondamente. Ma quello che gli fu più gradito e apprezzò più altamente fu il conferimento della cittadinanza onoraria della città natale di Braunschweig e di quella di Gottinga.

La sala della cerimonia era stata adornata da fiori per una riunione della Reale Accademia delle Scienze e Gauss vi lesse un *Contributo alla teoria delle equazioni algebriche*, ritornando su un soggetto che aveva analizzato nella sua dissertazione, trattandolo da un punto di vista più generale.

Un episodio che rimane un interessante e luminoso ricordo di quel giubileo, avvenne quando, dopo il banchetto in suo onore, Gauss fu sul punto di accendere la sua pipa con un pezzo di manoscirtto della sua *Disquisitiones Arithmeticae*. Dirichlet, al quale sembrò un sacrilegio, inorridito liberò le carte dalle mani di Gauss e le tenne con sé per il resto della sua vita; l'editore dei lavori di Dirichlet trovò il manoscritto fra le sue carte.

Durante gli ultimi anni della sua vita la sola ricreazione di Gauss era una passeggiata fino al museo letterario di Gottinga, poco distante dall'Osservatorio, dove si intratteneva dalle undici a mezzogiorno. Ivi scrutava attentamente i vari periodici scientifici, letterari e politici, annotando in un foglio, o imprimendo nella sua notevole memoria, piccoli interessanti brani di nuove informazioni.

A casa si riposava di più di un tempo, dedicandosi a qualche lettura e alla corrispondenza con amici e colleghi in tutte le parti del mondo.

Dall'inverno 1852, egli che aveva goduto di una forte costituzione, incominciò a lamentarsi della sua salute. Continui attacchi di asma lo tormentavano e lo facevano soffrire.

Gauss che non aveva mai usato medicine, aveva poca fiducia nella scienza medica e per lungo tempo non ebbe intenzione di chiamare un dottore. Solo dopo ripetute insistenze dei suoi familiari e dei più stretti amici si decise di chiamare in aiuto il suo collega universitario ed amico Dr. Wilhelm Braum, direttore della Clinica chirurgica, che lo visitò la prima volta il 21 gennaio 1854, riscontrandogli fra l'altro un ingrossamento del cuore.

L'applicazione di rimedi pratici e l'arrivo della primavera ebbero un effetto favorevole sulle condizioni di salute di Gauss, tanto che egli fu in grado non solo di andare ancora qualche volta al museo letterario, o di fare qualche piccola passeggiata nelle vicinanze di casa, ma di visitare, nella primavera del 1854, la costruzione della linea ferroviaria da Gottinga a Kassel, alle quali opere egli molto si interessava. In quella circostanza i cavalli della sua carrozza furono spaventati dal passaggio di una locomotiva, il cocchio si rovesciò, il cocchiere rimase seriamente ferito, ma Gauss e sua figlia Teresa non subirono alcun danno.

Verso la fine dell'estate dello stesso anno Gauss si sentiva abbastanza bene e volle essere condotto all'inaugurazione ufficiale della linea ferroviaria tra Gottinga ed Hannover e osservare la festività. Quello fu l'ultimo giorno che gli amici di Gauss lo videro in buona salute.

In sul finire del 1854 la malattia di Gauss andò peggiorando di settimana in settimana. L'idropisia si era sviluppata, la conversazzione era diventata difficile e penosa, per cui dovette declinare le visite dei suoi intimi amici. Il 22 febbraio del 1855, subito dopo mezzogiorno, Gauss soffrì l'ultimo attacco di cuore. Verso sera aveva ancora piena conoscenza e, sebbene i suoi occhi fossero chiusi, percepiva coll'udito la presenza dei suoi intimi amici nella stanza attigua; il suo cuore batteva ancora, ma gli intervalli divennero sempre più lunghi, il respiro sempre più flebile e all'1,05 della notte del 23 febbraio 1855 egli serenamente esalava l'ultimo respiro. Il suo amico Sartorius riferisce la quasi incredibile coincidenza: l'orologio da tasca di Gauss, che egli aveva portato la maggior parte della sua vita, si era fermato a pochi minuti dopo l'una.

Quella notte gli intimi amici di Gauss lo vestirono con le sue vesti accademiche

con guarnizioni di velluto porpora, lo distesero in una semplice cassa nera, gli posero una corona di alloro intorno alla testa e circondarono la sua figura silenziosa di fiori della precoce primavera. La mattina del 26 febbraio di buon ora fu portato in pompa nella rotonda dell'Osservatorio sotto la cupola. Ivi la sua bara fu circondata da cipressi, da rami di palma e da dodici candelabri che riversavano su di lui una luce solenne. Le campane delle chiese suonarono a rintocco per richiamare e ricordare ai cittadini di Gottinga che il loro più grande figlio stava per essere condotto al riposo eterno.

Alle nove in punto dodici studenti di matematica e scienze, fra cui vi era Dedekind, portarono la bara sulla terrazza dell'osservatorio, dove era radunato un folto e distinto gruppo di persone, fra cui, oltre i familiari, vi erano il Rettore dell'Università con molti professori e studenti, membri del consiglio della città e una vasta moltitudine di amici e ammiratori.

Il coro intonò il grande inno di Lutero *Ein feste Burg ist unser Gott*, e quindi Heinrich Ewald, genero di Gauss, e professore di teologia all'Università di Gottinga, pronunciò con tono accorato la prima orazione funebre. La seconda orazione fu letta in forma solenne dal barone Wolfgang Sartorius von Waltershausen, professore di geologia all'Università di Gottinga e intimo amico di Gauss.

Al termine la bara fu chiusa e portata al carro funebre; quindi una lunga processione lentamente si mosse verso il vicino cimitero di S. Albano dove Gauss fu sepolto in luogo ameno accanto alle tombe dei suoi familiari.

Più tardi, nel 1859, fu eretto dai suoi figli un solenne monumento. Un altro splendido monumento di Gauss, scolpito da uno dei più grandi scultori tedeschi, Fritz Schaper, fu eretto nel 1877 dalla vittà di Braunschweig ai piedi di una collinetta, ora chiamata Gaussberg, in occasione del centenario della nascita. Esso sulla base di granito porta questa iscrizione: *Dedicato dalla grata posterità nel centenario del suo giorno di nascita in questa nativa città di Braunschweig al sublime pensatore che svelò i più reconditi segreti della scienza dei numeri e dello spazio, che scandagliò le leggi dei fenomeni naturali terrestri e celesti e fece esse utili al benessere dell'umanità.*

La città e l'Università di Gottinga non vollero rimanere indietro a Braunschweig nell'onorare Gauss. Nel campo dell'Università fu eretto nel 1899 un maestoso monumento a Gauss e Weber che rappresenta i due scienziati in atteggiamento di discussione sul loro telegrafo. Fa meraviglia però in questo monumento il fatto che le due persone appaiono di avere quasi la stessa età, mentre Gauss era più anziano di Weber di 27 anni.

Uno splendito monumento a Gauss fu anche eretto a Berlino. Ma il più imponente monumento alla memoria di Gauss sta nella Torre che porta il suo nome, costruita sul Mt. Hohenhagen a poche miglia da Gottinga, che è con Brocken e

Inselberg uno dei vertici più importanti nella triangolazione del regno di Hannover.

Alla morte di Gauss, su ordine del re di Hannover fu convocato d'urgenza lo scultore C. M. Hesemann, il quale fece una maschera e un accurato stampo dell'intera testa di Gauss. Iniziò quindi il lavoro per un medaglione e più tardi ne scolpì il busto in marmo bianco per la biblioteca universitaria, busto che Alexander von Humboldt considerò il migliore ritratto di Gauss. Sul medaglione il Re ordinò che fossero incise queste parole: *Giorgio V, Re di Hannover, al principe dei matematici*, con l'aggiunta *Academiae suae Georgiae Augustae decori aeterno*.

Quando il Re Giorgio V di Hannover visitò l'Osservatorio nell'aprile del 1865 egli ordinò che una grande lastra di rame fosse posta sopra la porta della stanza in cui Gauss morì, con una iscrizione che dice presso a poco così: *Carl Friedrich Gauss chiuse la sua vita terrena in questa stanza, la stessa dei suoi quarant'anni di attività, il 23 febbraio 1855. Di qui il suo spirito immortale ascese al cielo per contemplare in eterna luce la pura verità di quelle misteriose dottrine che egli con sacra serietà si sforzò di decifrare qui sotto la scintillante scrittura del firmamento.*

Un altro stupendo ricordo di Gauss si trova nel salone d'onore del museo di Monaco ed è il ristratto in olio dell'intera persona nella sua veste accademica, eseguito dal pittore R. Wimmer. Al disotto di esso vi è una iscrizione dettata dall'astronomo Martin Brendel che dice: *La sua mente penetrò nella profondità segreta del numero, spazio e natura. Egli misurò il corso delle stelle, la forma e la forza della Terra. Egli determinò l'evoluzione delle scienze matematiche per i secoli futuri.*

Molte e molte altre onoranze furono rese a Gauss dopo la sua morte, e in diverse circostanze, dalla città natale, da Gottinga e da altre città della Germania, col dedicare al suo nome scuole, nuove istituzioni e strade; coll'istituire premi e borse di studio.

Il nome di Gauss ricorre in molti teoremi dell'analisi matematica, della geometria, della meccanica e della fisica matematica; esso è legato a ricerche in meccanica celeste, in ottica, in elettromagnetismo; l'unità di intensità di campo magnetico è chiamata «Gauss».

Ma il più fine e importante tributo reso per sempre a Gauss è stato forse la pubblicazione delle sue opere, sotto il nome di *Works*, in dodici volumi, iniziata nel 1863, fatta a spese della Società Reale di Scienze di Gottinga e sotto la cura di un considerevole numero di eminenti scienziati tedeschi.

COMMEMORAZIONE DI AMEDEO AVOGADRO

TENUTA IL 15 DICEMBRE 1977

PAROLE DEL DIRETTORE DELLA CLASSE PROF. VITTORIO CIRILLI

Questa riunione è stata indetta dalla Classe di Scienze Fisiche di questa Accademia allo scopo di ricordare il secondo centenario della nascita di Amedeo Avogadro. In realtà essendo questi nato il 9 agosto 1776, la commemorazione avrebbe dovuto essere tenuta lo scorso anno, ma impedimenti vari ci hanno costretto al ritardo.

La Commemorazione ufficiale sarà tenuta tra poco dal prof. Milone, io desidero unicamente fare presente che in questa occasione abbiamo voluto esporre accanto ad alcuni volumi di Avogadro, sia a stampa che manoscritti, di proprietà dell'Accademia, anche quindici volumi manoscritti di proprietà della locale Biblioteca Civica. Questi ci sono stati dati in prestito per cortese concessione dell'Assessore alla Cultura prof. Giorgio Balmas e del dott. Carlo Revelli, direttore della Biblioteca, che sentitamente ringrazio.

In totale di questi volumi manoscritti Avogadro ne compilò 75, di circa 700 pagine ognuno, tracciati con una scrittura minuta, regolarissima ma di lettura non facile. Sono tutti in lingua francese e riportano i risultati delle ricerche dei maggiori chimici e fisici del tempo, con interessanti commenti. Fu infatti più su una precisa conoscenza dei risultati sperimentali altrui che non su i risultati di ricerche personali che Avogadro enunciò la sua ipotesi.

Sfogliando i volumi ci si accorgerà che le formule chimiche scritte da Avogadro corrispondono esattamente a quelle che oggi conosciamo; sono le formule dell'acqua, dell'ammoniaca, del metano, dell'etilene, dei cloruri di mercurio, del tetracloruro di silicio e di molti altri composti della chimica inorganica od organica.

Bisogna ricordare che a quell'epoca le formule accettate erano diverse e quindi errate. Venivano scritte seguento le regole empiriche proposte da Dalton l'acqua era HO, il metano CH_2, l'anidride solforosa SO, . . .

Neppure il grande Berzelius evitò numerosissimi errori come quello di scrivere le formule del protossido d'azoto NO, dell'anidride nitrosa NO_3, dell'ossido di silicio SiO_3, del tetracloruro di carbonio C_2Cl_4 . . .

In realtà né Dalton, né Berzelius, né Dumas né molti altri accettarono per vera l'ipotesi espressa da Avogadro nel 1811 perché ammettevano che i gas semplici fossero formati di atomi e quindi di particelle indivisibili. L'idea fondamentale di Avogadro è invece che le molecole gassose sono generalmente poliatomiche e quindi durante lo svolgimento della reazione si possono suddividere negli atomi componenti.

Grande era quindi a quei tempi la confusione in quanto non erano ancora ben definiti i concetti di atomo e di molecola. Lo stesso Avogadro, almeno nei primi lavori, non fu molto chiaro: chiamava infatti gli atomi molecole elementare, le molecole formate da atomi della stessa specie molecole costituenti, mentre i composti erano le molecole integranti. Questa terminologia costituì forse un ostacolo alla comprensione della legge procrastinando la netta distinzione tra atomo e molecola quale noi oggi l'intendiamo.

A quell'epoca le particelle al limite della divisibilità erano chiamate atomi dai chimici inglesi mentre quelli francesi usavano per le stesse particelle il termine molecola.

Nel secolo diciannovesimo verso gli anni cinquanta era ancora dubbio quale fosse il peso atomico dell'ossigeno; alcuni assumevano il valore di 8, altri di 16, per i primi la formula dell'acqua era HO, come per Dalton, e l'acqua ossigenata HO_2, per gli altri H_2O e H_2O_2. La diversità delle opinioni non era di poco conto in quanto coinvolgeva il valore dei pesi atomici di tutti gli elementi. L'ipotesi di Avogadro continuò ad essere avversata anche quando nel 1857 Clausius mostrò che essa poteva essere dedotta sulla base della teoria cinetica dei gas.

Fu Cannizzaro, specie nel suo intervento al Congresso di Karlsruhe (1860), a dare un fondamentale contributo alla determinazione dei pesi atomici e quindi alla comprensione dell'ipotesi di Avogadro.

Solo allora fu definitivamente chiarita la distinzione tra atomo e molecola e si addivenne alla scala dei pesi atomici basata sul peso atomico dell'idrogeno posto uguale all'unità.

Non mancarono però i dissidenti e verso la fine dell'ottocento vi era ancora chi tentennava circa la formula dell'acqua e tra questi il celebre Berthelot.

In realtà si deve giungere al 1893 perché l'ipotesi di Avogadro sia riconosciuta come una legge fondamentale. In quell'anno infatti fu pubblicato il trattato di Walter Nernst «Theoretische Chemie» che aggiunse al titolo «vom Standpunkte der Avogadroschen Regel und der Thermodynamik». Con questo riconoscimento da parte di uno studioso della statura di Nernst, l'ipotesi di Avogadro, per così lungo tempo combattuta, è stata definitivamente considerata come una delle più importanti basi della fisica e della chimica.

Sono stati quindi necessari oltre ottanta anni per riconoscere valida l'ipotesi e per riconoscerne definitivamente il merito ad Avogadro.

Se è ormai universalmente riconosciuta l'opera di Avogadro nel campo dello studio della struttura delle molecole si deve pur dire che fu anche un valido studioso di teorie elettrochimiche. Contribuì infatti (1809) a chiarire il problema della distinzione fra acido e base facendo anche osservare che questa distinzione non è assoluta perché vi sono sostanze capaci di manifestare in alcuni casi proprietà basiche e proprietà acide in altri casi. A secondo delle condizioni del sistema dette sostanze possono quindi assumere carica positiva o negativa.

Considerando che Volta solo da pochissimi anni (1800) aveva inventato la sua pila e Davy (1807) aveva avanzato l'ipotesi che l'affinità chimica è determinata da forze di natura elettrica e che una stessa sostanza può assumere differenti proprietà secondo la quantità di carica si può ben concludere che anche in questo campo Avogadro può essere considerato un precursore.

Dalla lettura dei manoscritti si deduce che il Nostro fu uomo di molteplici interessi nel campo della scienza. Si occupò infatti anche di meccanica, di ottica, di cristallografia, di elettricità, di magnetismo, di astronomia. Era un lettore accanito e per questo aggiornatissimo su gli sviluppi del pensiero scientifico. Di particolare valore il trattato di fisica, in quattro volumi, che ebbe ampia risonanza nell'ambiente universitario piemontese.

Do ora la parola al prof. Milone che ci parlerà dei rapporti intercorsi tra Avogadro e questa Accademia ed anche, in modo più generale, dell'ambiente scientifico in mezzo al quale il Nostro trascorse, in un ambiente non sempre facile, spesso misconosciuto, gli anni di una lunga, modesta vita.

Amedeo Avogadro Chimico Torinese 1776 - 1856

Discorso Storico critico
letto dal Socio nazionale residente MARIO MILONE

Signore e Signori,
Di Amedeo Avogadro già molto è stato detto e scritto in varie occasioni commemorative [1] e il Suo nome, al pari di quello di un non numeroso gruppo di Scienziati che lasciarono più profonda impronta nella storia del progresso umano, è capillarmente noto in quanto riportato sui testi di scuola, perfino di quella dell'obbligo: qualunque ulteriore generica commemorazione suonerebbe soltanto come pleonastica ripetizione: vi sono tuttavia alcuni aspetti biografici caratterizzanti la sua figura preminente tra i chimici di ogni tempo, che sono finora poco conosciuti e che meritano particolare considerazione.

Inoltre per la nostra Accademia, su cui le universalmente note benemerenze del grande Scienziato hanno riversato cotanto lustro e così vasta notorietà, il tacere in questa bicentenaria ricorrenza avrebbe invero costituito grave demerito per inspiegabile incuria, incomprensione e anche profonda ingratitudine.

Tanto più che per noi pochi torinesi che persistiamo nel credere che molto delle attuali nostre strutture e istituzioni trae qui origine, significa sempre gradevole ritornare col pensiero alla Torino di quegli anni intorno a due secoli fa, nei quali si andavano affermando nuove tendenze, nuove dottrine filosofiche e un rigoglioso rifiorire di studi e di ricerca scientifica e stava avviandosi quella svolta di eccezionale e determinante importanza nella storia dei popoli, la quale portò al profondo rivolgimento istituzionale ed al rinnovamento intellettuale, cui in Piemonte si ricollegherà il Risorgimento nazionale.

E' appunto in quest'ordine di idee che la nostra Accademia nelle scorse settimane ha solennemente commemorato altri due suoi illustri Soci di quel tempo. Pierre Simon Laplace (1749 - 1827) e Carlo Federico Gauss (1777 - 1855) [2] e ha prestato larga collaborazione alla rievocazione televisiva degli illuministi D'Alembert e Diderot autori e coordinatori della monumentale *Enciclopedia* [3]: peccato che questa manifestazione di alto significato scientifico e culturale, sia poi degenerata in quel dibattito riuscito, eufemisticamente parlando, molto, troppo disordinato.

Abbiamo voluto esporre oggi qui accanto a significativi cimeli Avogadriani anche alcuni pochi dei 35 volumi di questa preziosa e grandiosa opera di divulgazione, in cui è racchiuso gran parte dello scibile di quel tempo e alla quale attinsero informazioni e formarono cultura anche gli scienziati che qui allora operarono.

Non credo inoltre inutile soffermarci brevemente a considerare lo stato e l'evoluzione socio-politico culturale dell'ambiente in cui il 9 agosto 1776 nacque, terzogenito degli otto figli dell'Alto Magistrato conte Filippo, crebbe, maturò la mente ed espresse il proprio pensiero il grande Scienziato, che noi oggi riconosciamo come fondatore della Chimica fisica.

Verso la metà del XVIII secolo a Torino, piccola capitale (circa 60000 abitanti) di un piccolo regno (circa due milioni), i monarchi assoluti erano di preferenza preoccupati ad apprestare milizie bene equipaggiate ed addestrate, e, riuscendo ad ammassare oltre 40000 soldati, non perdevano occasioni per scendere in guerra anche contro nazioni ben più potenti e talvolta a vincerle.

L'Istruzione non era pubblica ma rimaneva limitata a pochi e in mano all'influente autorità ecclesiastica, sempre assai diffidente nel recepire novità e progresso nella conoscenza delle realtà fenomeniche: tuttavia nei brevi periodi di chiusura delle porte del tempio di Giano, cominciavano a scorgersi manifestazioni di un operoso spirito indaginoso e non pochi sono i cultori di fisica, di farmacia, di botanica, di zoologia che hanno lasciato tracce di loro pregevoli ricerche in pubblicazioni o in lettere: il collega Athos Goidanich [4], in una recente pubblicazione sugli Entomologi minori italiani di quel tempo, ne annovera circa 300: di questi oltre cinquanta sono piemontesi!

Da più di tre secoli esisteva a Torino l'Università [5] che comprendeva facoltà di Teologia, Legge, Medicina, Chirurgia, Arti. Verso il 1750 contava circa 2000 studenti, ed era amministrata con saggi ordinamenti e annoverava docenti di buon nome, sicché nel 1810 il barone Giorgio Cuvier (1764 - 1832) [6], uno dei grandi naturalisti francesi, poteva dire che fu l'ottimo sistema di insegnamento adottato dalla nostra Università che diede all'Europa il maggior geometra (Luigi Lagrange) e il maggior chimico (Claudio Berthollet).

Nel 1720 fu istituita la cattedra di fisica: quella di chimica [7] non lo fu che molto più tardi, nel 1800, e pare per l'opposizione nel 1776 di un influente personaggio, che riuscì a convincere il Re della vanità, della presunzione negli scopi e della pericolosità delle relative operazioni.

Nel 1748 da Roma, ove insegnava, fu chiamato alla cattedra di fisica il monregalese abate Giovan Battista Beccaria [8] (1716 - 1781), fautore del metodo galileiano, il quale pur incontrando qualche constrasto, introdusse nell'insegnamento la considerazione scientifica delle esperienze. Nella sua abitazione, all'ultimo piano del palazzo all'angolo Nord della contrada di Po con la piazza Castello, si era fatta costruire una torretta-specola, che ancora si può osservare,

per studi di astronomia (fra l'altro determinò il grado del meridiano di Torino) [8 bis], di meteorologia e di elettrologia atmosferica nella quale acquisì così larga fama da essere considerato il Franklin del Piemonte. Si occupò anche di chimica: studiò l'azione delle scariche elettriche sull'acqua, osservando nel 1746 che si formavano bolle gassose (era l'*elettrolisi ante literam*) [9] e riuscì a dimostrare, nel 1759, che piombo e stagno riscaldati in presenza di aria aumentavano di peso con formazione di calci [10], servendosi di un'originale, semplice e ingegnosa apparecchiatura costituita da un pallone pieno d'aria saldato ad una storta contenente i metalli, il tutto sospeso in equilibrio a freddo e che per il riscaldamento si sbilanciava dalla parte della storta: precorreva così il Lavoisier, il quale nel 1774 in una comunicazione all'Accademia di Francia riconobbe d'essere stato preceduto dal *physicien célèbre* di Torino [11]. Nella stessa esperienza veniva implicitamente anche dimostrato il principio della conservazione della materia.

Ma il maggior merito del Beccaria, da non dimenticare, fu di essere stato il maestro di un largo stuolo di studiosi e scienziati del tempo, i quali si distinsero, oltre che nella medicina, nella fisica e nella chimica, che in quei tempi cominciava ad essere coltivata anche da noi.

Primi fra tutti il LAGRANGE [12] e il BERTHOLLET [13]: questi laureatosi a Torino in Medicina, dopo qualche anno si trasferì a Parigi, dove come allievo e successore di Lavoisier assurse, come è noto, ad alta fama nelle chimiche discipline, non solo come scienziato, ma anche come uno dei primi a occuparsi di applicazioni industriali. Benché sia vissuto poi sempre in Francia, il Berthollet ha avuto non poca influenza sulla nostra cultura chimica per le relazioni personali mantenute con i chimici piemontesi, che favorirono la diffusione delle sue opere: Socio della nostra Accademia, vi presentò una memoria [14].

Ricordiamo inoltre:

– il marchese GIUSEPPE ANGELO SALUZZO (1734 - 1810); fece osservazioni importanti circa l'influenza della pressione sulla combustione della polvere pirica e istituì giudiziose esperienze con i gas che ne derivano, costruendo dispositivi per la loro separazione e analisi del tutto analoghi a quelli proposti successivamente dal Woulfe (le bottiglie di lavaggio oggi di largo impiego nei nostri laboratori [15])

– FRANCESCO CIGNA (1734 - 1790), medico, nel 1766 espose in una chiara relazione alla nostra Accademia la descrizione di esperimenti simili a quelli che condussero nel 1781 il Volta a scoprire l'elettroforo, e inoltre si occupò in modo originale della respirazione degli animali in *arie* diverse e dell'ebollizione dei liquidi. [16].

– FRANCESCO GIUSEPPE GARDINI (1740 - 1816), medico, insegnò fisica al Collegio di Alba per 25 anni. Ha dissertato *sull'elettricità animale* già nel 1788 (prima del Galvani) e avendo osservato la variazione del colore nelle scintille

elettriche, a seconda dei metalli da cui scoccano, è da annoverarsi tra i primi spettroscopisti. Considerato dalle maggiori Accademie d'Italia e d'Europa, ricevette riconoscimenti e numerose medaglie [17].

– VITTORIO GIOANNETTI (1729 - 1814), medico, chimico autodidatta, escogitò metodi originali di analisi chimica, tra i primi in Piemonte a considerare l'aspetto tecnologico: dedicò molta attività, ma con risultati economici molto scarsi, alla manifattura delle celebrate porcellane di Vinovo, che ancora oggi sono apprezzate e ricercate dagli amatori d'arte. Non avendo ottenuto cattedra all'Università, come accennato, tenne corsi privati di chimica [18].

– COSTANZO BENEDETTO BONVICINO (1739 - 1812) medico, allievo del precedente, primo professore di chimica farmaceutica all'Università (1800). Possedeva molta cultura, abilità sperimentale ed acume nell'osservazione. Si occupò di metallurgia e di mineralogia (trovò minerali di cobalto, arsenico, titanio e bismuto nelle Valli piemontesi) [19]. Il suo corso di Chimica farmaceutica condotto con chiarezza e semplicità seguendo le teorie di Lavoisier costituisce il primo trattato di chimica scritto in lingua italiana [20], sebbene a malincuore e costrettovi dalle contingenze, come dice l'autore, il quale fu fervente ammiratore dei dominatori francesi, tanto da mutarsi il nome in Bonvoisin.

– GIOVAN ANTONIO GIOBERT (1761 - 1834), fu il primo titolare della cattedra di chimica all'Università di Torino nel 1801, amico del Berthollet, fu tra i primi a seguire in Italia le teorie Lavoisieriane; sostenne in un pubblico concorso bandito dall'Accademia di Scienze di Mantova nel 1788 che l'acqua è composta da idrogeno e ossigeno [21]. Fu un attento analista, dimostrò che la cosiddetta allumina usata con ottimi risultati nella produzione di porcellane a Vinovo era invece carbonato di magnesio (e prese poi da lui il nome di *Giobertite*). Costruì un eudiometro al fosforo, osservò per primo la luminescenza di cristallizzazione, si occupò di chimica organica e agraria e scrisse un trattato sul *pastello* (*Isatis tinctoria*), (che ricevette un alto riconoscimento dal Governo di Parigi) e sull'estrazione da esso dell'indaco [22].

– il conte CARLO LUDOVICO MOROZZO (1743 - 1804), generale, rimasto sostenitore del flogisto, si occupò della composizione dell'aria, dell'assorbimento dei gas da parte del carbone, della fosforescenza e dei colori vegetali e animali. Praticò meccanica e ottica cooperando alla costruzione di lenti speciali per microscopi e telescopi [23].

– GIOVAN MARIA FONTANA (1753 - 1791). Studiò anche a Parigi con Maquet e Baumé. Buon analista, insegnò chimica privatamente e all'Università di Vilna (Polonia). Si occupò dei composti del platino e li descrisse con precisione e completezza [24].

– ALESSANDRO VITTORIO D'ANTONI (1714 - 1786), fu Direttore della Scuola di Artiglieria e compì ricerche nel laboratorio chimico dell'Arsenale. Scrisse un

trattato sulle polveri e un testo di lezioni di Arti Militari che riscossero vivo interesse anche fuori del Piemonte [25].

Questi ed altri pochi cultori di fisica, di chimica e di medicina BUTINI, BUNIVA, NAPIONE, tutti soci della nostra Accademia, dimostrarono di saper sopperire con l'ingegno e l'industriosità alla inadeguatezza dei mezzi conseguente all'incertezza dei tempi, alle guerre e alle incomprensioni derivantine, che fatalmente favorivano quella tendenza all'isolamento, notoriamente connaturata nel carattere piemontese.

E mentre è doveroso riconoscere che in quell'epoca si facevano in Italia importanti scoperte in elettrologia, anche i lavori di chimica qui da noi non furono, come accennato, né pochi né trascurabili; la farmacia si avvicinava alla chimica e i medici più reputati s'ingegnavano di scoprire medicamenti nuovi per mezzo della chimica. Ma rimanevano sterili, perché rivolti esclusivamente a una descrittiva analisi fenomenologica: mancavano vere scuole di chimica da potersi confrontare con quelle fiorenti in altre nazioni, fattivi collegamenti e scambi di idee e notizie.

Nella seconda metà del XVIII secolo si andava tuttavia formando un più favorevole clima allo studio e all'iniziativa scientifica anche nell'ambiente limitato della piccola Torino, per la benefica influenza dell'aria di Francia e fatti nuovi, particolarmente propizi, si stavano avverando.

Lagrange, Saluzzo e Cigna, discepoli ben accetti al Beccaria, erano soliti frequentare il suo laboratorio: senonché per qualche giovanile imprudenza o per involontaria leggerezza nei confronti del molto suscettibile maestro, ne venne un raffreddamento di rapporti e pertanto i tre divisarono nel 1757 di costituire una *Società fisico-matematica privata*, che prese a tenere scientifiche adunanze nel palazzo San Germano, abitazione del Saluzzo, ove alcune camere erano adibite ad esperienze di fisica e chimica: era l'inizio di questa nostra Accademia [26]. Già nel 1759 la Società privata pubblicò un volume: *Miscellanea philosophica-mathematica Societatis Privatae Taurinensis*, che venne accolto con singolare favore e apprezzamento dai dotti; crescente considerazione incontrarono i successivi volumi di *Melanges de Phylosophie et de Mathematique*, talché nel 1783 alla Società veniva conferito il titolo di *Accademia Reale delle Scienze di Torino* dal Re Vittorio Amedeo III, che le assegnava anche un'annua provvigione e le destinava per le sue attività questo monumentale palazzo, costruito dal Guarini verso il 1685 per il Collegio dei Nobili, fondato dal Duca Emanuele Filiberto.

Quasi contemporaneamente, un gruppo di Torinesi, [27], studiosi di Scienze Naturali e di Agronomia, nell'intento di promuovere a pubblico vantaggio miglioramenti nella coltivazione dei terreni, costituivano la *Società privata Agraria*, la quale ben presto assurse a centro propulsore di studi e di ricerche che venivano divulgate dalle apprezzate pubblicazioni, alle quali collaborarono anche i chimici

e fisici Morozzo, Bonvicino, Fontana, Micheletti, Vassalli Eandi, Giobert (che ne fu segretario perpetuo dal 1790). Qualche decennio più tardi assunse il titolo di Reale Accademia di Agricoltura. Molto stretti furono i legami tra le due Accademie, dato che molti Soci appartenevano ad entrambe: tra questi anche Amedeo Avogadro.

Inoltre, come già accennato, esistevano a Torino la Scuola Militare di Artiglieria, la quale dalla struttura di un efficiente liceo (vi insegnò Lagrange) si era presto elevata con il contributo di Saluzzo, Morozzo, d'Aquin e d'Antoni, a un centro di ricerche nell'ambito dello studio degli esplosivi e della metallurgia applicata alle Artiglierie. A questo fine era pure sorto un attrezzato laboratorio per analisi e controllo delle fusioni dei bronzi presso l'Arsenale.

Fra tanto fervore di studio e di ricerca che si svolgeva nell'ambiente pur limitato della piccola Torino, e al quale come detto partecipavano anche distinti membri della nobiltà, non deve stupire se Amedeo Avogadro, laureatosi, per desiderio paterno, in leggi civili ed ecclesiastiche nel 1794 e 1796, ma che tuttavia sentiva congenita inclinazione alle matematiche e alle osservazioni della fenomenologia naturale, sia stato attratto verso lo studio della fisica e della chimica. Ma l'Università era chiusa dal 1792 (non funzionava che per gli esami e le lauree) a causa dei rivolgimenti politici e delle guerre continuative, e l'aristocratica famiglia, lasciata la capitale, era sfollata a Biella in una casa della madre, nella regione Piazzo. L'Avogadro non rimane in ozio e continua a coltivare gli studi intrapresi e anzi, insieme al fratello Felice, di due anni più giovane, anch'esso avvocato, appresta un piccolo laboratorio e in esso si cimenta in esperimenti di elettrologia e di chimica, forzatamente con la sola guida di qualche libro: tra questi certamente il trattato *Physicae Experimentalis lineamenta ad Subalpinos* [28], compilato dai professori abati GIUSEPPE ANTONIO EANDI (1735 - 1799) e ANTONIO MARIA VASSALLI EANDI (1761 - 1825), zio e nipote, successori del Beccaria alla cattedra di fisica; e pubblicato per precisa disposizione delle Autorità accademiche torinesi, allo scopo di sopperire in qualche modo alla sospensione dei corsi universitari; in questo testo la fisica e la chimica sono trattate, in latino, con chiarezza e precisione e all'altezza dell'evoluzione nelle cognizioni del tempo.

Al rientro nel 1800 a Torino (il padre fu nominato da Napoleone Presidente del Senato del Dipartimento Francese dell'Eridano) nel nuovo clima di calma politica, l'Avogadro, pur assumendo le mansioni di segretario di Prefettura, ha maggiori possibilità di dedicarsi agli studi prediletti e alle speculazioni di filosofo naturale e può frequentare all'Università le lezioni e le esercitazioni di Vassalli Eandi [29], sempre molto seguito e apprezzato da uditori di ogni ceto, e con tale profitto che nel 1805 ne diventa ripetitore al Collegio delle Provincie, riaperto sotto il nome di Pensionat de l'Académie de Turin. I ripetitori erano scelti tra i migliori licenziati e loro compito era il ripetere la lezione del giorno tenuta dal professore

durante i corsi regolari. In tali mansioni l'Avogadro dovette dimostrare non comune attitudine e capacità all'insegnamento, se nel 1809 riceve la nomina a professore di Filosofia Naturale nel collegio (liceo) di Vercelli, dato che secondo i nuovi ordinamenti Universitari del 1801, i candidati all'insegnamento della filosofia, oltre a sostenere una dissertazione su un punto di filosofia, dovevano subire un interrogatorio di un'ora su tutte le sue parti [30].

I fratelli Avogadro che avevano avuto così agio di ampliare la loro cultura nella filosofia naturale, prendono a meditare su particolari aspetti dell'elettrologia e della chimica nella scia delle eccitanti scoperte di Volta e Lavoisier: ma se per la fisica possiamo loro riconoscere la valida guida dell'abate Vassalli Eandi altrettanto non possiamo dire per la chimica, i cui studiosi pur volenterosi indagatori in ricerche episodiche si dimostrarono scarsamente provvisti di sufficiente profondità di pensiero per l'interpretazione e il coordinamento dei risultati ottenuti. Facoltà che invece ritroviamo già assai spiccata nei fratelli Avogadro, i quali essendosi soffermati a ragionare per approfondire il significato di esperienze riportate nella letteratura, pervennero a conclusioni che ritennero di presentare all'Accademia delle Scienze con due memorie nel 1803 e nel 1804. Entrambi i manoscritti, l'uno di argomento di fisica, l'altro prettamente di chimica, scritti di mano dell'Amedeo, rimasero però nell'Archivio, pur meritando agli autori menzione onorevole e nomina ad Accademici corrispondenti: di questo titolo il nostro si servirà per firmare due memorie inviate al *Journal de Physyque*, che le pubblicò nel 1806 e nel 1807, su gli argomenti trattati nel sucitato primo manoscritto presentato alla nostra Accademia [31].

Quando nei primissimi anni del XIX secolo i fratelli Avogadro bussano alla porta della nostra Accademia, lo fanno senza alcun senso di timore, anzi affrontano direttamente i problemi propostisi, emettendo idee originali nell'interpretare fenomeni di elettrologia e di chimica, sui quali non dimostrano di avere personalmente sperimentato: idee che li portano a giudizi critici, talora anche polemici, e a validità di conclusioni.

Della prima memoria dal titolo *Essai analitique sur l'électricité* che come detto fu in seguito pubblicata sul *Journal de physique*, ha già parlato diffusamente Perucca [1], che ne ha messo in evidenza quegli originali spunti di ipotesi che pur allora immature, solitarie e sterili furono riprese trenta anni dopo da Faraday e Mossotti, i quali ne rivendicarono la paternità agli Avogadro.

La seconda del 1804, quando erano appena state enunciate la *legge di Dalton* e la *teoria atomica* è una memoria di chimica e ha titolo: *Considerations sur la nature des substances connues sous le nom de sels metalliques et sur l'ordre de combination auquel il parait le plus convenable de les rapporter.* Non mi risulta che sia stata finora oggetto di considerazione e di studio: essa consta di 16 pagine di grande formato a scrittura molto fitta e riguarda una questione molto sottile

che potrebbe, oggi giorno, sembrare, a uno sguardo superficiale rivestire unicamente interesse storico. Gli autori prendono spunto dalla domanda: dato che la combinazione di un metallo con un acido non può avvenire senza che intervenga una certa ulteriore quantità di ossigeno, questo ossigeno proviene da una ossidazione preliminare del metallo oppure da un aumento di ossigeno nell'acido?

L'Amedeo Avogadro (in questo manoscritto vergato di suo pugno infatti, a differenza del precedente, viene costantemente usata la prima persona singolare) tende a dimostrare il secondo corno del dilemma, mediante una trattazione puramente dialettica, condotta secondo gli schemi scolastici, che risentono della precedente formazione mentale del dottore in *utroque iure*, con copiosi riferimenti a recenti pubblicazioni e a risultati di esperienze qualitative, sommariamente descritte, ma senza accenni a proprie verifiche.

Non dobbiamo quindi stupirci se il Giobert, il quale era essenzialmente un chimico analista, incaricato di riferirne all'Accademia dice che [32] «Sans approuver la théorie des auteurs dans ce Mémoire il y a de la profondeur, et il y brille même du génie. Pour en donner une preuve, il suffit d'observer qu'ils *ont deviné* par le raisonnement, ce que CHENEVIX [32 bis] vient de démontrer par l'experience, que l'acide muriatique n'est pas à l'état oxigéné dans le muriate de mercure corrosif. En le lisant, on ne peut qu'admirer les dispositions rares des deux jeunes gens qui en sont les auteurs. L'Académie doit beaucoup en espérer, si jamais ils se livrent à la partie expérimentale.»

Non è certo qui il caso di scendere a un più dettagliato esame di questo manoscritto, (lo rimando se mai a una sede più idonea) ma scorrendolo non si può fare a meno di rilevare che l'Avogadro ha inoltre *indovinato* che nel *muriato (cloruro) corrosivo* e nel *muriato dolce* l'acido non è combinato con l'*ossido di mercurio*, ma con il *mercurio* e che la differenza fra i due sali è dovuta al fatto che «una uguale quantità d'acido, a ugual grado di ossidazione, è combinata con due dosi differenti di mercurio metallico» cioè, come diremo noi, nei due sali il mercurio ha numero di ossidazione diverso! Nella seconda parte della memoria sulla base di suoi ragionamenti e deduzioni s'avventura in una sostanziale critica delle correnti regole di *nomenclatura chimica* proponendo originali variazioni.

E' quindi da credere che il non passaggio del manoscritto alla stampa si deve anche, e piuttosto, ascrivere al fatto che i due giovani non ancora qualificati, e poco noti nell'ambiente accademico, hanno osato entrare in polemica con BERHOLLET, FOURNIER, BERGMAN e il *jeun Gay* (sic) [33] e pretendono di rilevarne errori e di proporre correzioni alle regole di quella *nomenclatura chimica* espressa dalla Scuola Francese e che in allora era comunemente accettata [34].

Questi episodi iniziali della carriera scientifica di Amedeo Avogadro sono più che sufficienti per illuminarci sul metodo veramente filosofico da lui seguito: di studio, di ricerca, di approfondito critico giudizio: non fu, è vero, uno sperimen-

tatore, ma un attento lettore di quanto veniva pubblicato: e inoltre un sapiente e saggio giudice di quanto di sperimentale veniva comunicato e in cui sapeva scegliere con felice mano quello che gli appariva significativo ai fini di una euristica utilizzazione, anche da limitate esperienze.

Ed è proprio quello che l'Avogadro stesso dice nella conclusione della memoria del 1811 [35], in cui emise l'ipotesi molecolare «En lisant ce Mémoire, on aura pu remarquer, en général, qu'il y a beaucoup de points d'accord entre nos résultats particuliers et ceux de Dalton, quoique nous soyons partis d'un principe général, et que Dalton ne se soit régle que sur des considérations particulières. Cet accord dépose en faveur de notre hypothèse, qui n'est au fond que le système de Dalton, muni d'un nouveau moyen de précision par la liaison que nous y avons trouvée avec le fait général établi par M. Gay-Lussac.» Inoltre nell'ultima frase accenna alla possibilità di conciliare le idee di Berthollet sulle combinazioni indeterminate con quelle di Proust sulle combinazioni fisse.

E qui è proprio il caso di puntualizzare che in questa memoria nella quale venne chiaramente enunciata l'*ipotesi,* poi universalmente accettata come *legge,* per cui *il numero delle molecole integranti in uguali volumi di qualunque gas è sempre lo stesso a temperatura e pressione costante*, le conclusioni vengono tratte dall'Avogadro unicamente ragionando su 16 valori di densità di vapore e su una decina di dati delle analisi chimiche di alcuni ossidi metallici che egli desunse da lavori di Gay Lussac, Dalton, Kirvan, Thenard, Biot, Aragot, Davy, Fourcroy, Proust previo un esame comparativo circa la loro attendibilità e il loro grado di approsimazione.

Quei due primi manoscritti, veri gioielli nello scrigno della nostra Accademia, hanno anche un notevole valore epistemologico, perché gli argomenti in essi trattati segnano, si può ben dire, le due direttive secondo cui si è sviluppata la lunga opera scientifica del nostro: l'elettrologia e la chimica. In particolare nel secondo manoscritto, quello di chimica (1804) è facile riconoscere alcune tematiche che ritroveremo perseverantemente trattate in seguito, quali:

– la caratterizzazione formale degli ossidi a proprietà acide e basiche e dei sali che ne derivano;

– la esistenza di più sali formati per la combinazione in quantità diverse di coppie acido-base;

– il modo di formulare i vari sali così ottenuti;

– il tentativo di classificarli in modo unitario, secondo sue nuove norme di nomenclatura.

Infatti già cinque anni dopo, [36] sulla base di ricerche di Davy, emise idee originali e per nulla peregrine riguardo l'acidità e l'alcalinità con formulazione di una serie degli elementi, ai cui estremi poneva l'ossigeno e l'idrogeno, molto simile alla nostra serie elettrochimica degli elementi. Questo argomento è poi

accennato nella classica memoria del 1811 [35] e ribadito nel 1813 [37] in una nota di risposta a Berzelius, al quale fa osservare che le idee da lui enunciate hanno molta analogia con le proprie, e ancora nel 1825 [38], 1827 [39], 1830 [40], 1836 [41], 1840 [42] e 1843 [43] facendo rilevare che le sue proposte vennero adottate dalla maggior parte dei chimici, compreso Berzelius: il quale però ha ignorato queste memorie, come ignorò di proposito *l'ipotesi molecolare*.

Questi lavori ebbero anche continuità in quelli di elettrochimica suoi, del Michelotti, e del Botto [44] con l'impiego di un voltmetro moltiplicatore da lui stesso costruito.

La definizione delle formule costitutive di ossidi e sali sulla base della loro composizione è un argomento, che accennato nel manoscritto del 1804, ha costantemente preoccupato il nostro e nel quale certamente ha portato un contributo essenziale, basilare e duraturo. Basterà soffermarsi brevemente, purtroppo il tempo oggi a disposizione è poco, sulle memorie del 1814 [45], 1816 [46], 1817 [47], 1821 [48] e [49] le quali costituiscono un vero trattato di chimica, che non ha perduto nulla della sua originale validità. Infatti egli è arrivato nella memoria del 1821 [48], di ben 160 pagine, a proporre e a sostenere, in contrasto con autori autorevolissimi d'oltralpe, un sistema di formole chimiche che corrisponde all'attuale. Riconobbe infatti:

– per gli ossidi le strutture M_2O, MO, M_2O_3, M_3O_4;
– per le anidridi N_2O_3, N_2O_5, P_2O_3, P_2O_5; As_2O_3, As_2O_5, ecc.
– per i sali $AgCl$, Ag_2CO_3, K_2CO_3, NH_4Cl, $CaCl_2$, ecc.

Leggendo queste memorie si evince che Avogadro basandosi sulla determinazione dei pesi molecolari fu il vero precursore delle moderne formole. Applicando in modo ingegnoso la sua legge ha dimostrato l'esistenza di molecole con due o più atomi, la divisibilità delle molecole nel corso delle reazioni chimiche, la biatomicità dell'idrogeno, ossigeno, azoto, cloro, e inoltre ha definito esattamente le formole, che noi oggi usiamo, di oltre 250 composti anche organici e proprio anche quei pesi atomici che Cannizzaro nel 1857, nella ben nota lettere al De Luca [50], non ha potuto far altro che pienamente confermare per mezzo della sua *legge degli atomi*. Sulla base delle formole di ossidi e sali così ottenute l'Avogadro aveva già evidenziato nel 1821 [48] l'esistenza di gruppi di elementi con analogo comportamento chimico: i metalli alcalino-terrosi, i metalli trivalenti, il gruppo del carbonio, silicio, stagno, zirconio e titanio per i quali definì la tetravalenza e il peso atomico in netto contrasto con i chimici delle maggiori scuole europee, anche del ventennio successivo, nonché i gruppi dell'azoto, del solfo, degli alogeni.

In pratica Egli aveva chimicamente raggruppato gli elementi nei gruppi del sistema periodico proposto da Mendeleev assai prima che il sistema venissse elaborato, come in questa stessa sede, mi sono già permesso di evidenziare in

occasione della solenne rievocazione centenaria mendeleviana [51]. Ricordiamo inoltre che al Nostro dobbiamo ancora la priorità nel riconoscimento del rapporto 1/16 tra i pesi atomici dell'idrogeno e ossigeno e di 1/8 nel rapporto di loro combinazione nell'acqua [35] e dell'identità delle leggi di combinazione nei composti inorganici ed organici; anche di numerosi tra questi ha dato le formole esatte [48] e [49].

Su questioni di nomenclatura, su cui discute ampiamente nel manoscritto del 1804, è tornato più volte negli appunti contenuti nei manoscritti e in varie memorie; nelle due pubblicate dall'Accademia dei XL nel 1843 e nel 1847 [52], si occupa anche della grafia delle formole chimiche, in particolare: H_2O per l'acqua.

Non si deve poi dimenticare la chiarezza di idee sullo stato metallico e delle leghe, nelle quali riconosce la formazione di soluzioni solide e di composti intermetallici [53].

E' d'uopo inoltre ricordare che è stato uno dei primi a cercare e trovare nei corpi correlazioni numeriche tra proprietà fisiche e chimiche, cioè a studiare, in relazione con la loro costituzione chimica, le proprietà fisiche, quali: i volumi atomici [43], [54], [55], [56], [57], i calori specifici [58], [59], [60], [61], [62], [63], [64], la dilatabilità [65], [66], [67], [68], [69], [70], il potere rifrangente [58], [71], [72], [73], il potere dielettrico [31], [74], la tensione di vapore [66], [73], la capillarità [76] e a definire quei *numeri affinitari* [39], [54], [55], [56], [57], [77], [78] con i quali tendeva a una rappresentazione dell'affinità per il calorico [77], [78], [79], [80], che egli considerava il fondamento di tutti i rapporti elettrochimici tra gli elementi, in verità con scarso successo: ma la teoria cinetica dei gas, per usare la frase di Perucca [1], non era ancora esplosa!

Su questo argomento esiste negli archivi della nostra accademia il manoscritto di una memoria inedita dell'Avogadro probabilmente del 1848, pervenutaci per dono di Giuseppe Bruni, professore di chimica al Politecnico di Milano, che lo ha anche ampiamente illustrato nei nostri Atti del 1933 [81].

Infine, il capitolo nel *Trattato di Fisica* sulla disposizione particolare delle molecole nei corpi solidi, ossia sulla cristallizzazione, costituisce, con le sue 572 pagine primo in Italia, un vero testo di *cristallografia chimica* [53].

Questi pur affrettati accenni ritengo siano più che sufficienti per farci riconoscere nell'Avogadro una spiccata mentalità e personalità chimica che assolutamente non può essere negata e che anzi ci costringe a considerarlo tra i maggiori chimici: a pieno diritto e oggi più che mai. Anche se egli all'inizio della memoria del 1821 [48] pubblicata dalla nostra Accademia, dice: «Ce sujet appartient à proprement parler à la chimie, et pourrait paraître en quelque sorte étranger à la physique proprement dite, qui a toujours fait l'objet principal de mes études».

Le moderne vedute circa la struttura elettronica degli atomi e il meccanismo d'azione con cui gli elettroni realizzano il legame chimico, ci hanno condotto

assai lontano dalla elementare, ma realistica concezione dei tempi di Avogadro. Il quale, pur non preoccupandosi della natura delle forze che tengono insieme gli atomi, e continuando a ragionare in chiave di volumi atomici e molecolari, senza tuttavia pronunciarsi sulla funzione degli imponderabili, elettrico e calorico, che riteneva equamente distribuiti sugli atomi, ha così dato nel 1849 [82] la descrizione della molecola: «Quant aux corps composés, dont je me suis occupé dans mon second Mémoire sur les volumes atomiques, j'ai cru devoir rejeter absolument l'idée que le volume de la molécule d'un de ces corps doive être égal à la somme des volumes de ses atomes composants, soit tels qu'ils se présentent dans chaque corps composant à l'état libre, soit modifié d'une manière quelconque en passant dans le composé. Il me semble qu'on ne peut concevoir la combinaison de plusieurs atomes de différentes espèces entre eux, que comme leur réunion dans un seul atome ou molécule intégrante, dans laquelle on ne peut plus distinguer la partie du volume qui appartient à chacun d'eux. Les atmosphères de corps impondérables qui environnaient les atomes à l'état séparé, et qui les tenaient à une certaine distance, et par là déterminaient leur volume, doivent se pénétrer et se confondre ensemble, de manière à ne plus former qu'une seule atmosphère environnant l'ensemble de ces molécules partielles, beaucoup plus rapprochées entre elles que les molécules intégrantes qui en résultent, et auxquelles on doit rapporter le volume atomique du composé.»

Non corrisponde questa descrizione a quella dei chimici fisici moderni quando si sostituisca l'*atmosfera dei corpi imponderabili* con le *nuvole elettroniche*?

Giobert aveva chiamato *indovino* [32] il Nostro, perché, pur non avendo sperimentato, aveva precorso i risultati degli sperimentatori: ma nei cinquant'anni successivi quante verità chimiche sono risultate da lui indovinate sulla base dei suoi ragionamenti di filosofo naturale!

Non vi è dubbio che la palestra in cui Amedeo Avogadro di preferenza esercitò il suo sapere fu proprio la nostra Accademia, nella cui ben fornita e aggiornata biblioteca egli trovò il più ampio materiale di indagine.

Per oltre cinquant'anni è appartenuto all'Accademia delle Scienze di Torino che assiduamente frequentava: per oltre vent'anni, fino alla morte, fu Direttore della Classe di Scienze e ad essa dedicò molto della sua attività scientifica. Sono una trentina le sue memorie pubblicate nei nostri Atti, alcune di oltre 150 pagine, e numerosi i pareri espressi su questioni varie poste dagli Uffici Governativi, di cui l'Accademia fungeva allora come organo tecnico e le relazioni su memorie presentate alla Classe: l'ultima redatta in collaborazione con Angelo ed Eugenio Sismonda, fu letta l'8 luglio 1855, che fu anche l'ultima seduta cui Egli partecipò, e si riferisce ad uno studio di Quintino Sella sulla Mineralogia sarda [83].

Aiutato dalla buona conoscenza delle lingue e da eccellente memoria, era solito consacrare molte ore della giornata, specie quelle serali, nel suo romito studiolo

nell'estremo angolo della casa a meditare, a ragionare e ad annotare diligentemente, riassumendo e coordinando notizie e fatti, corredandoli di personali interpretazioni e deduzioni: ne sono testimonianza i 75 volumi di manoscritti, ognuno di circa 700 pagine (in tutto circa 50000 pagine, scritte con cura fittamente a caratteri minuti, talché la lettura non è sempre facile) conservati nella Biblioteca Civica di Torino.

Tra questi volumi [84] alcuni comprendono estratti e riassunti delle Memorie dell'Accademia di Francia, e delle altre riviste del tempo a partire dal 1785 e di testi con osservazioni, postille ed indici per ogni volume.

I volumi dal 41 al 75 sono miscellanee del lavoro quotidiano, dal 1820 al 1872: l'ultimo fu scritto all'età di 75 anni e con grafia assai incerta. Altri volumi contengono le minute delle sue Memorie scientifiche e di gran parte del poderoso *Trattato* [53].

E' ben noto che la *legge delle molecole* per cui oggi l'Avogadro ha grande fama di Scienziato e la maggior parte dei suoi scritti praticamente non ebbero considerazione tra i contemporanei. Molto si è scritto e discusso sui motivi di questa incomprensione, imputandola vuoi a scarsa diffusione dei Suoi scritti, vuoi a motivi dipendenti dal suo carattere solitario e modesto: a oltre cento anni dalla sua morte possiamo forse emettere un giudizio, che meglio interpreta i fatti. Avogadro ha pubblicato le sue memorie, e molte in lingua francese, su riviste ben note italiane ed europee: a quel tempo poche erano le riviste che pubblicavano lavori di chimica e di fisica e tutti gli ambienti di ricerca ne erano provvisti. La nostra biblioteca riceveva praticamente tutte le riviste che si pubblicavano e le Memorie dell'Accademia di Torino avevano larghissima diffusione: d'altra parte le notizie rimbalzavano da rivista a rivista per mezzo di riassunti e Egli risulta aver goduto di larghe recensioni.

Non si può dire che Avogadro fosse un solitario: certo non ha avuto colleghi o discepoli in sufficiente grado di recepire o discutere le idee che andava sviluppando: una sola volta fu a Parigi e pochissime negli Stati vicini, non strinse quindi relazioni personali con chi poteva farlo conoscere e procurargli allori accademici: non fu eletto a nessuna delle prestigiose Accademie europee, e in Italia, oltre alle Torinesi delle Scienze, di Agricoltura e di Medicina, appartenne solo all'Accademia italiana di Modena, ora dei XL.

Modesto sì, ma soltanto nel senso di non sfoggiare i propri meriti, di non cercare di prevaricare e di farsi avanti per ambire onori, ma invece fermo, deciso e anche ostinato nel rivendicare quanto era convinto gli fosse dovuto.

Infatti mentre nella corrispondenza con l'Accademia dei XL quasi si scusa di aver cambiato nelle bozze il titolo di Cavaliere con quello di Conte, pervenutogli in conseguenza della morte del fratello Giuseppe Antonio [85], nella memoria del 1821 perentoriamente scrive: «Io credo di essere stato il primo a segnalare nel

1811 e nel 1814 che l'applicazione del principio scoperto da Gay-Lussac può essere applicato alla determinazione delle masse relative delle molecole dei corpi e in generale alla teoria delle proporzioni definite [48].» E questa affermazione ha in seguito ancora ripetuta più volte; e così per altre sue idee sulla affinità chimica, sui volumi atomici e i calori specifici non mancò di reiterare le sue rivendicazioni [86]. E' quindi piuttosto da credere che l'opera scientifica dell'Avogadro rimase praticamente non considerata dai contemporanei, perché non rientrava, anzi urtava, negli schemi e nelle regole tradizionali, sui quali i più noti capiscuola della chimica (Dalton, Berzelius, Wurtz, Dumas, Gmelin, ecc.) perduravano con autoritarismo a impegnare il loro prestigio personale: e neppure sono da escludere motivi politici e nazionalistici.

La lunga vita di Amedeo Avogadro si è svolta, tranne il periodo vercellese, tutta a Torino: ove, tra gli studi e la famiglia (ebbe 8 figli cui era molto affettuosamente legato), visse in serenità e tranquilla operosità: purtroppo turbata per l'allontanamento dalla cattedra Universitaria di Fisica Sublime (1922 - 1934) a causa di male intesa severità politica, che per altro non pare abbia avuto ragione d'essere, sulla base dei documenti pervenutici: ma questo periodo corrisponde a un intenso lavoro scientifico. Attese infatti a una quindicina di memorie e alla preparazione del voluminoso *Trattato di Fisica*. [53]. Torinese, fu un vero *bongianen*, non soltanto per la mite indole e il franco carattere di cittadino ligio ai doveri, metodico, perseverante, tenace e persistente nei suoi lavori, ma anche nel significato meccanico della parola: nacque infatti e morì nell'ambito della stessa Parrocchia del Carmine, abitando, al rientro da Vercelli, all'estremo della contrada di Dora Grossa (oggi via Garibaldi) verso la Porta Susina nella casa preesistente all'attuale numero civico 40.

La sua giornaliera fatica si svolgeva per i suoi impegni e mansioni sull'asse delle Contrade di Dora Grossa e di Po, dalla Casa alla Curia Massima, ai Palazzi Governativi di Piazza Castello, all'Università, con piccola deviazione alla n. Accademia: negli ultimi anni durante la buona stagione con la famiglia si trasferiva nella Vigna Clinet nei pressi della Chiesa di Sassi, ai piedi di Superga [87].

Occupò anche varie cariche pubbliche, tra cui quella di membro della Commissione Superiore di Statistica, curando il rilevamento della meteorologia torinese, di cui fu interessato cultore [88] nella scia del maestro Vassalli Eandi [46] e quella di Presidente della Commissione dei Pesi e Misure, ove patrocinò vivamente l'introduzione in Piemonte del sistema metrico decimale [89].

Nel palazzo della nostra Università verso l'angolo SE del maestoso loggiato juvarresco, tra altre impolverate marmoree lapidi, spicca per la sua leggiadra fattura, sormontata dal busto e dallo stemma gentilizio, quella dedicata ad Amedeo Avogadro: fu scoperta il 29 novembre 1857 con cerimonia che riuscì veramente commovente, come annota il cronista del quotidiano *Gazzetta Piemontese* [90], il

quale nel busto ritrova «la serena sua fronte, lo sguardo tranquillo, l'aria soave di quel volto in cui riflettevasi in vita la scintilla dell'ingegno, la bontà dell'animo e la rettitudine del cuore.» L'epigrafe dettata dal dotto umanista ed insigne epigrafista Barone Giuseppe Manno, recita: «In questo santuario della Scienza / in cui il Conte Amedeo Avogadro di Quaregna / lasciò nome uguale alla sublime dottrina da lui insegnata / in cui non ebbe a superare altri ostacoli a gran celebrità / che quelli della rara sua modestia / i congiunti, gli amici, gli ammiratori / posero a lui questo marmo / a ricordo perenne / di personaggio dottissimo e virtuoso».

Per certo ben pochi tra quanti passando leggono queste parole, altosonanti si, ma assai poco caratterizzanti, riusciranno a ricollegarle con quell'ipotesi di cui hanno sentito parlare a scuola e che compendia la legge basilare della chimica fisica e con il suo decisivo apporto alla sistematica chimica.

Ma anche l'oratore ufficiale che in quel giorno pronunciò una pomposa orazione, si soffermò molto più ad esaltare le doti di animo e di cuore e la grande modestia: appena accenna alla ipotesi molecolare e tosto chiama in aiuto l'Ampère per suffragarne il valore. Fu questo oratore Felice Chiò [1], allievo e successore nella cattedra all'Avogadro (ma fu più matematico che fisico) ed è effigiato nel marmo che sovrasta una vicina lapide, e nella epigrafe lo chiama «sagace e profondo nella scienza del calcolo, perfezionò teorie, deputato al Parlamento,» ecc.: ma oggi è tra i dimenticati!

Analogamente l'altro suo allievo, Gian Domenico Botto, professore di fisica sperimentale all'Università, nella ampollosa commemorazione letta all'Accademia delle Scienze [1], ha premura di associare, per quanto riguarda quella ipotesi, il nome di Avogadro a quello di Ampère! Così come fece Cannizzaro pochi mesi dopo nella Lettera al De Luca [50]. Tacquero in queste occasioni i chimici universitari torinesi Ascanio Sobrero, Francesco Selmi, Michele Peirone e Raffaele Piria, effigiato anch'esso nel marmo e qualificato sulla lapide lì di fronte: «sommo chimico e ardente patriota».

A questo punto e come segno della scarsa attenzione prestata alla intuizione dell'Avogadro dai suoi contemporanei, anche se torinesi e a lui molto vicini, non è inutile leggere quanto, ancora nel 1850, il sunnominato Botto nel suo testo di *Fisica* [91] al capitolo Affinità chimica, dopo aver citato Dumas e Berzelius, e definito come *atomi* le *ultime particelle dei corpi semplici nel formare le molecole dei corpi composti*, testualmente, scriveva: «Taluni partendo dal concetto che pari volumi di due gas contengono in circostanze simili, un pari numero di atomi, sostengono che nelle combinazioni gassose il relativo volume corrisponde al relativo numero di atomi».

Soltanto dopo oltre mezzo secolo Torino ha definito il significato dell'aggettivo «sublime» inciso su quella lapide: con la solenne cerimonia commemorativa del centenario del'ipotesi il 24 settembre 1911. Promossa dalla nostra Accademia

alla presenza del Re e delle massime Autorità e di Scienziati di tutto il mondo, con la presentazione dell'edizione degli scritti più importanti e con la fulgida orazione storico-critica pronunciata, con infiammata ammirazione, da Icilio Guareschi [1], ben noto benemerito studioso di Storia della Chimica, veniva sancita per l'*Ipotesi* il *valore di legge delle molecole*, fondamentale della chimica e per Amedeo Avogadro *la priorità assoluta* nell'enunciazione. Solo allora Amedeo Avogadro diventava, tra i grandi della Scienza, veramente *sublime*, nel reale significato etimologico della parola.

Per accentuare il precipuo valore chimico dell'opera scientifica di Amedeo Avogadro, come corollario di quella celebrazione e a conclusione di questa rievocazione bicentenaria della sua nascita in Torino, il modesto chimico Torinese che vi sta parlando, si permette di proporre che, su quella lapide nel nostro Ateneo, in calce all'epigrafe si imprima a caratteri d'oro:

«Fu il primo a scrivere: Acqua = H_2O»

BIBLIOGRAFIA.

[1] – ACCADEMIA DELLE SCIENZE DI TORINO: *Opere scelte di Amedeo Avogadro* con discorso storico critico di Icilio Guareschi, UTET, 1911.

– ACCADEMIA NAZIONALE DEI XL: *Commemorazione del centenario della morte di Amedeo Avogadro*:

– BONINO GIOVANNI BATTISTA, *Allocuzione introduttiva*

– HINSHELWOOD CYRILL, *In memoria di Amedeo Avogadro*

– PAULING LINUS, *Amedeo Avogadro nel centenario della morte*

La Chim. e l'Ind., *38*, 680 (1956).

– ACCADEMIA NAZIONALE DEI XL: *Commemorazione del bicentenario della nascita di Amedeo Avogadro*, allocuzioni di:

– SEGRE BENIAMINO, *Amedeo Avogadro nel bicentenario della nascita*

– MILONE MARIO, *Amedeo Avogadro e l'Accademia delle Scienze di Torino*

– BERTI GIANCARLO, *A nome della Società Chimica Italiana*

– MARINI-BETTOLO GIOVANNI BATTISTA, *Amedeo Avogadro, uno dei XL della Società Italiana delle Scienze*

Annali dell'Acc. dei XL-Rendiconti II - III (1977 - 78).

– ROMANI FELICE, *Necrologia di Amedeo Avogadro*, Gazzetta Piemontese, 18 luglio 1856

– BOTTO GIUSEPPE DOMENICO, *Cenni biografici della vita e delle opere di Amedeo Avogadro*, Mem. Acc. delle Scienze di Torino, (2) *17*, 475 (1857)

– CHIÒ FELICE, *Inaugurandosi solennemente il monumento di Amedeo Avogadro nell'Università di Torino*, Stamperia Reale, Torino, 1857

– TROMPEO BENEDETTO, *Cenni necrologici di Amedeo Avogadro*, Giornale R. Acc. Medicina e Chirurgia Torino, *25*, 394 (1856)

– GUARESCHI ICILIO, *Amedeo Avogadro e la teoria molecolare*, UTET, 1901

– ROLLA LUIGI: *Amedeo Avogadro*, La Chim. e l'Ind., *38*, 867 (1956)

– BONINO G. B., Atti Acc. Ligure Sc. e Lett., *13*, 6 (1957)

– BIELLA AI TEMPI DI AMEDEO AVOGADRO, con allocuzione di PUGNO GIUSEPPE MARIA, Tip. Libreria Unione Biellese, Biella, 1957

– GIUA MICHELE, *Amedeo Avogadro*, Endeavour, *4*, 62 (1949)
– PERUCCA ELIGIO, *La vita e l'opera di Amedeo Avogadro*, Supplementi vol. VI-Serie X del Nuovo Cimento, 1957
– MARINI BETTOLO G. B., *Uno scienziato tra due epoche: Amedeo Avogadro,* Cultura e Scuola, *15* - 60 (1976)
– TIZZI PIER GIORGIO, *Lineamenti per una ricostruzione della Storia dell'insegnamento della fisica nell'Università di Torino*, Tesi di laurea, Istituto di fisica, 1973
– AIROLDI RINO, *Amedeo Avogadro, in memoria nel secondo centenario della nascita*, Ann. Acc. Agric. Torino, *119* (1976 - 77)
– GORIA CARLO, *Anche la storia della chimica passa per il Piemonte*, in «*Il vecchio per il nuovo*», Stamp. Art. Nazionale, Torino, 1971
– PARISI FEDERICO, La Chim. e l'Ind., *58*, 245 (1976)
– *Une hypothèse fameuse*, Endeavour, *35*, 1 (1976)
– GUARESCHI I., Suppl. ann. Enciclopedia Chimica, UTET, 1912
– SELMI FRANCESCO, *Compendio storico della Chimica*, Enciclopedia di Chimica, UTET *11*, 503 (1878)
Una completa Bibliografia delle opere di Amedeo Avogadro, compilata dal *Guareschi* fu pubblicata nel volume commemorativo dell'Acc. Scienze di Torino, UTET, 1911 (v.s.) e riportata da *Marini-Bettolo* in Ann. Acc. Naz. XL, Rendiconti II - III (1977 - 78) loc. cit. (v.s.) e da *Airoldi* loc. cit. (v.s.).
[2] – Atti Acc. Scienze Torino, 1978.
[3] – *Enciclopédie ou dictionnaire raisonné des Sciences, des Arts et des métiers, 35 Vol.* (1751 - 80), Paris.
[4] – GOIDANICH ATHOS, *Uomini, storie e insetti italiani nella scienza del passato. I precursori*, 2 Vol., Redia *57* (1975), Firenze.
[5] – VALLAURI TOMMASO, *Storia della Università degli Studi del Piemonte*, Torino, 1845
– BALBO PROSPERO, *Memorie Acc. intorno alla Storia della Università di Torino*, Mem. Acc. Scienze Torino, *21*, 2 (1808)
[6] – CUVIER GEORGE, *Orationes in Acc. Taurin, habitae*, Anno 1810, Bianco, Torino, 1824.
[7] – BONINO GIOVANNI GIACOMO, *Biografia medica piemontese*, Bianco, Torino, 1824
– GIUA M., *I chimici alla Cattedra di Chimica dell'Università di Torino*, Boll. Scientif. Facoltà Chim. Ind. Bologna, *10*, 151 (1952).
[8] – VALLAURI T., loc. cit.
– PAROLETTI, *Vite e ritratti di 60 Piemontesi illustri*, Torino, 1824
– EANDI G. A., *Memorie istoriche intorno agli studi del padre Beccaria*, Stamperia Reale, Torino, 1783.
[8 bis]– *Gradus Taurinensis*, Aug. Taur. ex Typ. regia, 1774.
[9] – *Scientiarum academicis Londinensibus atque Bononiensibus s.d. Joannes Baptista Beccaria*, Taurini, 10 febb. 1756.
[10] – CIGNA F., *Melanges de Philos. et de Math.* de la Soc. de Turin, *2*, 176 (1760)
– EANDI G. A., op. cit.
[11] – *Mémoires de Lavoisier, publiées par le Min. Instr. Publ., 2*, 120 (1862) Paris.
[12] – GIUSEPPE LUIGI LAGRANGE (1736 - 1813):
– DE LAMBRE, Mém. de l'Institut, Paris, 1812.
[13] – CLAUDIO LUIGI BERTHOLLET (1748 - 1822):
– CUVIER G., *Éloge historique du Conte Berthollet*, Paris, 1824
– GUARESCHI I., Suppl. Ann. di Chimica Scient. e Ind. UTET, Torino, 1910
– BONINO G. G., loc. cit.
– ROCCHIETTA S. e CAVANNA D.: CLAUDIO BERTHOLLET, *gloria italiana e francese*,

Atti Simp. Intern. Storia delle Scienze, Firenze, 1960.
[14] – Mem. R. Acc. Scienze Torino, *8*, 87 (1780).
[15] – GRASSI G., *Elogio storico del Conte G. A. A. Saluzzo di Monesiglio*, Torino, 1813
– PAROLETTI, loc. cit.
[16] – VASSALLI EANDI A. M., *9Notizie istoriche intorno alla vita e agli studi di* G. F. CIGNA, Mem. Acc. Scienze Torino, *26*, 1, XIII (1822)
– BONINO G. G., loc. cit.
[17] – BONINO G.G., loc. cit. II.288.
[18] – GIACOSA P., *Contributo alla Storia della chimica in Piemonte*
– CARENA G., *Elogio storico*, Mem. Acc. Sc. Torino, *23*, 113 (1816)
– PAROLETTI, loc. cit.
– BONINO G. G., loc. cit.
– CAMPORI, *Curiosità e ricerche di Storia Subalpina*, *3*, 574 (1879)
– SOBRERO ASCANIO, *Della porcellana di Vinovo*, Atti R. Acc. Sc. Torino, *2*, 224 (1866).
[19] – BONVICINO C., *Laudatio ab* A. GERMAGNANO, Aug. Taur., Bianco, 1812
– BONINO G. C., loc. cit.
[20] – *Elementi di chimica farmaceutica e d'istoria naturale e preparazione di rimedi, ad uso della Scuola Speciale di Medicina di Torino*, Stamperia Nazionale, Vol. I (1804), Vol. II (1810).
[21] – La dissertazione fu anche pubblicata nelle *Mem. R. Accad. Sc. Torino 10* 299 (1793).
[22] – CARENA G., *Commemorazione letta alla R. Accademia delle Scienze di Torino, 38* VIII (1835)
– DE ROLANDIS, *Cenno necrologico*, Repert. Med. Chirurg., 1834.
– TIMO A. Tip. Paglieri, Asti (1926).
– *Oeuvres de Lavoisier, publiées par le Min. de l'Instr.*, *2*, 827, Imprim. Imper. Paris, 1862.
[23] – BALBO P., *Vita del Conte C. L. Morozzo*, Società Italiana, *15* (1819).
– BONINO G. G., loc. cit.
[24] – BONINO G. G., loc. cit.
[25] – BALBO P., Mem. Acc. Sc. Torino, *15*, 281 (1805).
[26] – GORRESIO VITTORIO: Il primo sec. dell'Acc. Scienze di Torino - Stamperia Reale, 1883.
[27] – DONNA D'OLDENIGO GIOVANNI: *L'Accademia di Agricoltura di Torino*, Ann. Acc. Agric, Torino *118*, p. XXI (1976).
[28] – *pars prima* (1793); *pars altera* (1794) Tipografia Reale, Torino.
[29] – CARENA G., Mem. Acc. Scienze Torino, *30* XIX (1825).
[30] – *Cons. pubbl. Istruz. dell'Univ. Nazionale, Istruzione agli studenti, Torino,* 1801.
[31] – *Considerations sur l'état dans lequel doit se trouver une conche d'un corps non-conducteur de l'électriticé, lorsqu'elle est interposée entre deux surfaces douées d'électricités de différente espèce. Journ. d. Physs. di* DELAMÈTHERIE, *63* 450 (1806)
– *Second mémoire sur l'électricité, ou suite des considérations sur l'état où se trouve une couche de corps isolateurs interposéé entre deux surfaces douées d'électricités d'espèce contraire*, par A. AVOGADRO, Correspondant de l'Académie des Sciences de Turin. *Journ. de Phys.*, *65*, 130 (1807).
[32] – Memorie della R. Acc. Sc. Torino, *14*, CXVIII (1804).
[32 b] – CHENEVIX RICHARD: *Observations and experiments upon oxigenated and hyper-oxigenated muriatic acid, ecc.* (Letto il 28.1.1802) Phil. Trans. Royal Soc. London p. 126 (1802).
[33] – E' GIUSEPPE LUIGI GAY LUSSAC, (1778 - 1850), praticamente coetaneo di Amedeo Avogadro: nel 1808 enunciò la *legge di combinazione dei gas*.

[34] – GUYTON DE MORVEAU L. B., LAVOISIER A. L., BERTHOLLET C. L., FOURCROIX A. F., *La méthode de nomenclature chimique*, Paris (1787).
[35] – *Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps, et les proportions selon lesquelles elles entrent dans ces combinaisons.* Journal de Physique di DELAMETHERIE, *73*, 58 (1811).
[36] – *Idées sur l'acidité et l'alcalinité* (par A. AVOGADRO, Répétiteur de physique au Pensionnat de l'Académie de Turin). *Journ. de Phys.*, *69* 142 (1809).
[37] – *Réflexions sur la théorie électro-chimique de M. Berzelius.* A. Ch. [1], *88*, 286 (1813).
[38] – *Sur la construction d'un voltimètre multiplicateur, et sur son application à la détermination de l'ordre des mélaux relativement à leur électricité par conctat. Mem. della R. Acc. Sc. di Torino, 27,* 43 (1823).
[39] – *Sur les nombres affinitaires ou détermination des rapports électro-chimiques des corps. Bull. de Férussac*, 7, 129 (1827).
[40] – *Mémoire sur les pouvoirs neutralisants des différents corps simples, déduits de leurs proportions en poids dans les composés neutres qui en sont formés. Mem. R. Acc. Sc. Torino, 34,* 146 (1830).
[41] – *Nouvelles recherches sur le pouvoir neutralisant de quelques corps simples. Mem. R. Acc. Sc. Torino, 39*, 57 (1836).
[42] – *Sui diversi gradi della facoltà elettro-negativa ed elettro-positiva dei corpi semplici. Atti Congr. Sc. Ital.*, pag. 64 (1840).
[43] – *Sur les volumes atomiques et sur leur relation avec le rang que les corps occupent dans la série électro-chimique. Mem. R. Accad. Torino* [2], *8,* 129 - 193 (1846).
– *Mémoire sur le volumes atomiques des corps composés, Mem. Accad. Sc. Torino* [2], *8*, 293 (1846).
[44] – *Mémoire sur les rapports entre le pouvoir conducteur des liquides pour les courants électriques et la décomposition chimique qu'ils en éprouvent* (insieme col Prof. BOTTO). *Mem. R. Accad. Sc. Torino,* [2] *1*, 179 (1839).
[45] – *«Mémoire sur les masses relatives des molécules des corps simples» ou densités présumées des gas, et sur la constitution de quelques-uns de leurs composés, pour servir de suite à l' «Essai» sur le méme sujet. Journ de Phys.* di DELAMETHERIE, *78,* 131 (1814).
[46] – *Memoria sul calorico specifico de' gaz composti paragonato a quello de' loro gaz componenti*, del Cav. AVOGADRO, Prof. di Fisica a Vercelli. *Biblioteca Italiana* ossia *Giornale di Letteratura, Scienze ed Arti*, Milano *4*, 478 (1816).
[47] – *Continuazione e fine della Memoria sul calorico specifico de' gaz composti paragonato a quello de' loro gaz componenti*, del Cav. AVOGADRO, Prof. di Fisica a Vercelli *5*, 72 (1817), *Biblioteca Italiana.*
[48] – *Nouvelles considérations sur la théorie des proportions déterminées dans les combinaisons des masses des molécules des corps. Mem. della R. Accad. Sc. di Torino, 26,* 1 - 162 (1821).
[49] – *Mémoire sur la manière de ramener les composés organiques aux lois ordinaires des proportions déterminées. Mem. della R. Accad. Sc. di Torino, 26,* 449 (1821).
[50] – CANNIZZARO STANISLAO, *Sunto di un corso di filosofia chimica fatto nella R. Università di Genova*, Nuovo cimento 7, 301 (1858).
[51] – MILONE MARIO, Atti Convegno Mendeleeviano Acc. Scienze Torino, Acc. Nazion. Lincei pag. 7 (1969).
[52] – *Proposizione di un nuovo sistema di nomenclatura chimica. Mem. Soc. Ital. Mod., 23* 260 (1844).
– *Sopra un sistema di nomenclatura chimica. Mem. Soc. Ital. Mod., 24,* 166 (1850).

[53] – *Fisica de' corpi ponderabili* ossia *Trattato della costituzione generale de' corpi* (4 vol. in-8 gr., Torino, Stamperia Reale, 1837 - 1841).
Questi argomenti sono largamente trattati e discussi anche nei manoscritti.

[54] – *Mémoire sur la densité des corps solides et liquides comparée avec la grosseur de leurs molécules, et avec leurs nombres affinitaires* (1er Mémoire), *Mem. Accad. Sc. Torino, 30*, 81 (1826).

[55] – *Sur la densité des corps solides et liquides comparée avec la grosseur de leurs molecules et avec leurs nombres affinitaires* (2me Mémoire), *Mem. R. Accad. Sc. Torino, 31*, 1 (1827).

[56] – *Troisième Mémoire sur les volumes atomiques. Détermination des nombres affinitaires des différents corps élémentaires par la seule considération de leur volume atomique et de celui de leurs composés.* [2] *11*, 231 (1849).

[57] – *Quatrième Mémoire sur les volumes atomiques. Détermination des volumes atomiques des corps liquides à leur température d'ébullition; nombres affinitaires qui s'en déduisent pour quelques-uns des corps élémentaires. Mem. R. Accad. Sc. Torino* [2], *12*, 39 (1852).

[58] – *Nuove considerazioni sulle affinità dei corpi pel calorico, calcolate per mezzo dei loro calori specifici e dei loro poteri rifrangenti allo stato gassoso. Mem. Soc. Ital. Mod., 19*, 83 (1823).

[59] – *Note sur la relation entre les chaleurs spécifiques des gaz composés, et celles de leurs gaz composants, qui résulte des observations de M. Dulong. Bull. de Férussac. 13*, 211 (1830).

[60] – *Memoria sui calorici specifici dei corpi solidi e liquidi. Mem. Soc. Ital. Mod., 20*, 451 (1832).

[61] – *Nouvelles recherches sur la chaleur spécifique des corps solides et liquides. A. Ch.* [2], *57*, 113 (1834).

[62] – *Note sur la chaleur spécifique des différents corps, principalement à l'état gazeux. Bibl. univ., 29*, 142 (1840).

[63] – *Sul calorico specifico del carbonio. Atti Congr. Sc. Ital.*, 1840, pag. 16.

[64] – *Sulla legge relativa al calorico specifico de' gaz composti, e de' liquidi e de' solidi. Atti Congr. Sc. Ital.*, in Torino, 1840, pag. 13.

[65] – *Osservazioni sulla legge di dilatazione dell'acqua pel calore. Giornale di Brugnatelli, 1*, 351 (1818).

[66] – *Osservazioni sulla forza elastica del vapore acqueo a diverse temperature. Giornale di Brugnatelli, 2*, 187 (1814).

[67] – *Memoria sulle leggi della dilatazione de' diversi liquidi pel calore, Giornale di Brugnatelli, 2*, 416 (1819).

[68] – *Memoria sopra lo stabilimento d'una relazione tra la densità e la dilatabilità de' liquidi e la densità de' vapori che essi formano. Giornale di Brugnatelli*, 1819, *2*, 443 (1819).

[69] – *Memoria sulla legge della dilatazione del mercurio per il calore. Giornale di Brugnatelli*, 1820, *3*, 24 (1820).

[70] – *Mémoire sur les conséquences qu'on peut déduire des expériences de M.Regnault sur la loi de compressibilité des gaz. Mem. R. Accad. Sc. Torino* [2], *13*, 171, (1853).

[71] – *Memoria sopra la relazione che esite tra i calorici specifici e i poteri refringenti delle sostanze gasose. Mem. Soc. Ital. Mod., 18* 153 (1820).

[72] – *Memoria sulla determinazione delle quantità di calorico che si sviluppano nelle combinazioni, per mezzo dei poteri refringenti dei componenti e de' composti. Mem. Soc. Ital. mod., 18* 174 (1820).

[73] – *Comparaison des observations de M. Dulong sur les pouvoirs réfringens des corps gazeux, avec les formules de relation entre ces pouvoirs et les affinités pour le calorique, déduites des chaleurs spécifiques. Mem. R. Accad. Sc. Torino, 33*, 49 (1829).

[74] – *Saggio di teoria matematica della distribuzione dell'elettricità sulla superficie dei corpi conduttori nell'ipotesi dell'azione induttiva esercitata dalla medesima sui corpi circostanti, per mezzo delle particelle dell'aria frapposta. Mem. Soc. Mod., 23,* 156 (1844).
[75] – *Mémoire sur la force élastique de la vapeur de mercure à différentes températures. Mem. R. Accad. Sc. Torino, 36,* 215 (1833).
[76] – *Expériences sur quelques points douteux relativement à l'action capillaire. Mem. R. Accad. Sc. Torino, 40,* 191 (1838).
[77] – *1e Mémoire sur l'affinité des corps pour le calorique, et sur les rapports d'affinité qui en resultent entre eux. Mem. R. Accad. Sc. Torino, 28,* 1 (1824).
[78] – 2me *Mémoire sur l'affinité des corps pour le calorique et sur les rapports d'affinité qui en résultent entre eux. Mem. R. Accad. Sc. Torino, 29,* 79 (1825).
[79] – *Estratto di diverse Memorie sulle affinità de' corpi pel calorico, e sulle relazioni d'affinità che ne risultano tra loro, dedotte dalle osservazioni de' calorici specifici e de' poteri refringenti delle sostanze gazose, congiunte alle considerazioni chimiche. Giornale di Brugnatelli,* [2] 7, 427 (1824).
[80] – *Osservazioni sopra un articolo del* Bollettino delle Scienze *del signor* B. DI FERUSSAC, *relativo alle Memorie sull'affinità de' corpi pel calorico e sui rapporti di affinità che ne risultano tra loro. Giornale di Brugnatelli,* [2] *8,* 432 (1825).
[81] – Atti R. Accad. Scienze Torino *68* 173 (1933).
[82] – *Note sur la nécessité de distinguer les molécules intégrantes des corps de leurs équivalents chimiques dans la détermination de leurs volumes atomiques. Bibl. Univ. Arch., 11,* 285 (1849).
[83] – Come da verbale della seduta.
[84] – Una quindicina di questi volumi di manoscritti erano esposti nella sala.
[85] – MARINI BETTOLO, In commemorazione del bicentenario della nascita (v. nota 1).
[86] – Anche nel 3° manoscritto qui sopra ricordato (v. nota 81).
[87] – GRIBAUDI ROSA ELISA, *Ville e Vigne della Collina torinese p. 133,* Le Bouquiniste, Torino.
[88] – *Maniera di misurare l'umidità dell'atmosfera. Ann. Fis. Chim. di Majocchi, 9* 59 (1843).
[89] – DHO M., *Guida Pratica del Sistema metrico decimale ed itinerario generale dei Regi Stati,* G. Cassone, 1847, Torino.
[90] – ROMANI F., Gazzetta Piemontese, novembre 1857.
[91] – BOTTO G. D.: *Elementi di Fisica generale e sperimentale per uso delle Regie Scuole di Filosofia,* Stamp. Reale, 1850 Torino.



INDICE